SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

Nutrition
Le petit déjeuner idéal p. 72

EXPLORER L'ESPACE p. 24

Concevoir un vaisseau à antimatière
Aller plus vite que la lumière
Atteindre les exoplanètes

Ostéopathie Ce que la science en dit p. 52

SEPTEMBRE 2021 - N° 895 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / DOM-AVION 7,80 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 880 XPF / ILE MAURICE : 8,60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $
© SCIENCE PHOTO LIBRARY/ SUCRE SALÉ - NASA/ESA/HUBBLE/AFP - SHUTTERSTOCK

L 13418 - 895 - F: 5,30 € - RD

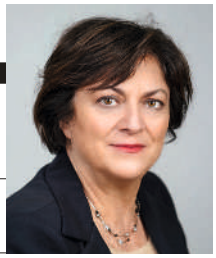
SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 895 - SEPTEMBRE 2021 - EXPLORER L'ESPACE

MARTIN FOURCADE
CHAMPION DU MONDE &
CHAMPION OLYMPIQUE
DE BIATHLON

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du Code de la mutualité. MGEN Action sanitaire et sociale, immatriculée sous le numéro SIREN 441 921 913, MGEN Centres de santé, immatriculée sous le numéro SIREN 477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du Code de la mutualité. Siège social : 3 square Max-Hymans - 75748 Paris CEDEX 15.

ÉDITORIAL

Dominique Leglu
Directrice éditoriale



BERNARD MARTINEZ

Épées de Damoclès

Pas question pour les scientifiques de se reposer cet automne, même après un été chargé. Climatologues ou météorologues, virologues ou épidémiologistes, il leur faut poursuivre leurs recherches et les doubler d'informations vers le grand public. Tel est l'air du temps. Ce à quoi *Sciences et Avenir* se consacre aussi sans relâche, car les sujets brûlants ne manquent pas.
Au premier rang, le climat, en alerte rouge. Thomas Pesquet, depuis la Station spatiale internationale, après avoir joué *la Marseillaise* sur son saxophone et réceptionné le fameux blob, cet organisme biologique énigmatique, s'est même vu enrôlé comme témoin oculaire de la chose.

À travers les hublots de l'ISS. Nés des incendies ravageant Sibérie, Californie, Grèce, Turquie, Algérie, Maroc…, des panaches de fumée jaunâtre qui atteignent jusqu'au pôle Nord ont été photographiés par notre astronaute vedette, en orbite à 400 km d'altitude. Après la publication début août du premier volet du 6e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), on aura compris que ces mégafeux vont devenir de plus en plus fréquents. Le thermomètre de la planète affiche aujourd'hui 1,1 °C de plus qu'avant l'ère industrielle, avec promesse d'un cortège d'événements extrêmes — dômes de chaleur, typhons et pluies diluviennes.

Le Giec comme Sisyphe. Ce rapport scientifique — le dernier remonte à 2013 — est sans appel : le changement, c'est maintenant. Chaque dixième de degré compte. Si les injections de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère se poursuivent comme aujourd'hui, il fera 2 °C de plus d'ici à vingt ou trente ans. La perspective d'un dérèglement climatique majeur devrait être au cœur des discussions de la COP26, à Glasgow, en novembre. On doute cependant que soient prises des décisions de baisse immédiate des émissions, de la Chine aux États-Unis, en passant par l'Inde — pays qui, à eux trois, contribuent pour moitié aux rejets mondiaux de GES. Le Giec, tel Sisyphe et son rocher, doit pousser et pousser encore ses chiffres pour que l'insécurité environnementale incite les États à passer à l'action.

Et toujours le variant Delta. Aujourd'hui, ce sont de multiples mesures qui semblent, telle l'épée de Damoclès, suspendues au-dessus des populations du globe. Il y a ce 410 ppm (partie par million) plutôt abstrait, qui qualifie la part de gaz carbonique actuelle dans l'atmosphère. Impressionnant car jamais vu depuis 2 millions d'années. Dans un registre plus individualisé, il y a le variant Delta qui ne cesse de circuler et crée une insécurité sanitaire renouvelée. Taux d'incidence, taux d'occupation de lits en réanimation et autres pourcentages caractéristiques d'un virus deux fois plus contagieux que la souche ayant déclenché la pandémie de Covid-19, voilà qui pousse à accélérer la vaccination. Pour miser sur une acceptable, si ce n'est bonne, rentrée. ■

@dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Masse ou densité d'un trou noir

Dans la page courrier de *Sciences et Avenir* n° 893-894, la réponse à la suggestion de Jean-Claude Poizat me surprend. Il me semble incorrect de dire que *« la très forte attraction gravitationnelle du trou noir ne dépend pas de sa masse »*. S'il n'y a pas de masse, il n'y a pas d'attraction ! Le très fort gradient de la force est simplement lié au fait que le trou noir étant très dense, son diamètre est faible, il est donc possible d'en être très près, et par conséquent la force et son gradient sont très élevés.

Gilbert Vincent

S. et A. : Dans notre précédente réponse sur la masse et la densité d'un trou noir, nous avons écrit que la capacité à déformer une étoile voisine du trou noir ne dépendait pas de la masse du trou noir mais de sa densité. C'est une formule qui peut être interprétée comme le fait que la masse d'un trou noir ne serait pas responsable de sa force d'attraction. Plusieurs lecteurs s'en sont émus. Ce n'est bien sûr pas ce que nous voulions dire. Un trou noir est caractérisé par sa masse qui seule explique le pouvoir d'attraction de l'astre sur la matière autour de lui : plus elle est élevée, plus l'attraction est grande. Le point sur lequel nous souhaitions insister, c'est que le pouvoir de déformation du trou noir, par effet de marée (dû au gradient de la force gravitationnelle, gradient que nous avons illustré par l'analogie avec la pente d'une colline), est surtout spectaculaire dans le cas d'un trou noir de petite masse, ce qui est contre-intuitif. Par exemple, une planète sera totalement disloquée à mesure qu'elle s'approchera d'un trou noir d'une dizaine de masses solaires, alors qu'elle pourra passer l'horizon des événements (distance du trou noir à partir de laquelle il n'est plus possible d'échapper à son attraction) sans encombre dans le cas d'un trou noir supermassif de plusieurs millions de masses solaires… Sur cet aspect, la masse ne compte pas comme on s'y attend : les effets de marées (ou le gradient de la force) à l'approche de l'horizon diminuent avec l'augmentation de la masse, ce qui rend un trou noir supermassif « inoffensif » en matière de dislocation, mais la région qu'il contrôle est devenue énorme…

Précisions

Régions Dans l'index géographique du dossier consacré aux trésors scientifiques (*S. et A* n° 893-894), p. 55 : les vignes de Sarragachies et le musée des Amériques d'Auch ne se situent pas en Nouvelle-Aquitaine mais dans la région Occitanie.

Guyane Dans ce même dossier, p. 34, la superficie de la Guyane est de 90 000 kilomètres carrés et non mètres carrés.

Chez votre marchand de journaux

Et aussi sur smartphone et tablette

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Carole Chatelain
Directrice de la rédaction

Plus vite, plus loin

« *Voyageur ! voyageur ! Quelle est notre folie !* », lançait Victor Hugo, insatiable arpenteur, dans *À un voyageur* (1829). Quelle est effectivement cette folie qui nous pousse depuis les origines à aller toujours plus loin ? D'abord en voulant admirer l'horizon juste derrière les collines puis — depuis que nous commençons à en avoir la possibilité technique — en espérant atteindre les planètes au-delà de la nôtre. Voyageur terrestre, voilà que nous nous transformons en voyageur intergalactique ! Et ce ne sont pas les milliardaires Jeff Bezoz, patron d'Amazon et Richard Branson, P-DG de Virgin Galactic, qui diront le contraire, eux qui viennent — coup sur coup — cet été de réaliser les premières envolées « touristiques » suborbitales. Certes, pour l'heure, il ne s'agit que de sauts de puce, à quelques encablures à peine de notre plancher des vaches pour la somme astronomique de 450 000 dollars le billet (Virgin), mais se pourrait-il qu'un jour nous allions beaucoup plus loin ? Elon Musk, autre milliardaire américain fondateur de SpaceX, envisage déjà quant à lui d'expédier une centaine de colons sur Mars dans les décennies qui viennent. Voyager loin, certes, mais comment ? La vitesse de nos moyens de propulsion actuels étant — toutes proportions gardées — équivalente à celle d'un escargot, il nous faudrait 1170 siècles pour atteindre Proxima du Centaure, l'exoplanète la plus proche de notre Terre. Mais à peine… 4,3 ans si nous pouvions grimper dans un véhicule fonctionnant grâce à la distorsion de l'espace-temps ! Et nous irions pique-niquer sur Mars en 7 minutes à peine si nous pouvions disposer d'un moteur à antimatière… *« Ne bridons pas notre imagination ! »* implore Jacques Arnould, expert éthique au Centre national d'études spatiales (Cnes) qui ne voit pas de limites à nos rêves. Car ces explorations pour l'heure théoriques posent de réelles questions dont les réponses sont cruciales pour notre présent. Mais d'autres voyages vous attendent ce mois-ci dans ces pages, avec notamment une percée dans le monde de l'ostéopathie dont les bienfaits, avérés, peinent à être quantifiés par les moyens d'évaluation classique de la médecine dite fondée sur les preuves (EBM ou *evidence based medicine*) *(p. 52)*. Ou encore une visite en avant-première des futures réserves du musée du Louvre *(p. 82)*. Bonne lecture ! ■ @carolechatelain

> « Nous irions pique-niquer sur Mars en 7 minutes à peine si nous pouvions disposer d'un moteur à antimatière »

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice de la rédaction Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de services enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN, Fabrice NICOT
Chroniqueurs A. Alvarez, Jean-Gabriel Ganascia, Céline Guivarch
Ont participé à ce numéro Pierre BERLOQUIN, Nicolas GUTIERREZ C., Pierre KALDY, Léa FOURNASSON, Théo TZÉLÉPOGLOU
Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 01 55 35 56 00

Origine du papier : Italie - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un encart «Sophia Boutique-Réveil de voyage Spirit of Saint Louis » jeté sur couverture sur toute la diffusion abonnés , ainsi que les messages « L'histoire » et « CFMM- Les pièces commémoratives Napoléon » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

T-TR1
Robot de téléprésence mobile
commandé à distance

PRÈS DES YEUX,
PRÈS DU CŒUR.

START YOUR IMPOSSIBLE*

TOYOTA

Partenaire
Olympique Mondial

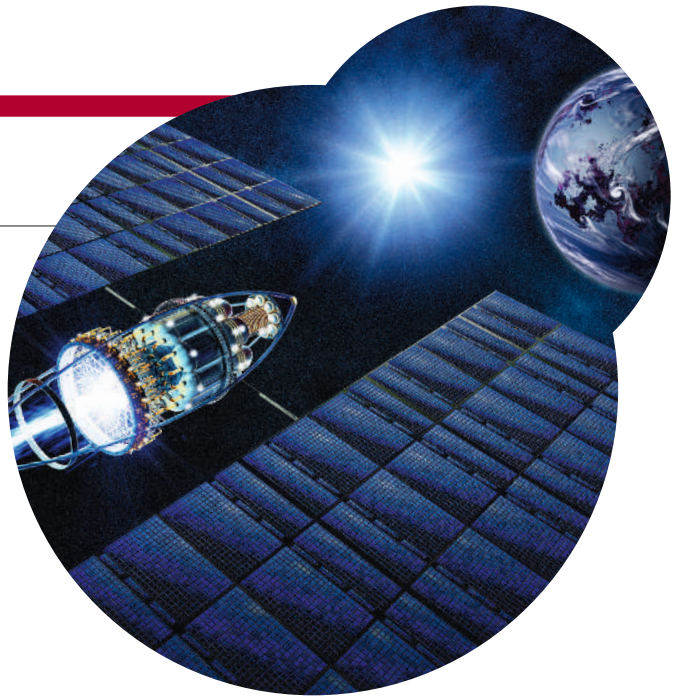
Partenaire
Paralympique Mondial

*DÉPASSER L'IMPOSSIBLE

Prototype Toyota présenté. Indisponible à la vente. ©2020 Toyota Motor Corporation. Tous droits réservés.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 895 / Septembre 2021



DOSSIER P. 24

Explorer l'espace

Voyage interstellaire : le thème n'est plus l'apanage de la science-fiction. De nouveaux modes de propulsion, des plus sidérants (antimatière) aux plus réalistes (nucléaire), sont aujourd'hui à l'étude pour mettre à la portée des humains des régions du cosmos jusque-là inaccessibles. Embarquement pour une aventure intergalactique.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Carole Chatelain

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** / Voici peut-être enfin une exolune / L'aimant le plus fin du monde / On a vu derrière un trou noir

34 **Le Big Bang sous l'œil d'un télescope inédit**

38 **Comment combattre la désinformation**

41 **Mars dévoile ses entrailles**

NATURE

12 **ACTUALITÉS** / Des coraux soignés en nurserie / L'ours polaire chasse à coups de blocs de glace / « Les perturbations du cycle de l'eau sont irréversibles »

42 **Dans l'intimité des nuages**

47 **Trois lézards à l'épreuve du changement climatique**

50 **Comment se forment les motifs du chou romanesco**

51 **Les cigognes ont du nez**

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** / L'appendice serait important pour la longévité / La science a sa langue des signes / La France met en pause ses recherches sur les prions

52 **Ce que dit la science de l'ostéopathie**

58 **Covid long : les malades enfin pris en charge**

62 **Un champignon lié à des cas de maladie de Charcot**

64 **Trois pistes pour vaincre la tuberculose**

L'observatoire du puy de Dôme, un site unique au monde pour étudier les nuages **p. 42**

L'ostéopathie, une pratique difficile à évaluer selon des critères scientifiques. **p. 52**

Reportage à Liévin, dans le Pas-de-Calais, nouveau lieu de stockage des réserves du Louvre. **p. 82**

68 **Dossier spécial : cinq questions pour bien entretenir son cerveau**

72 **Nutrition : Composer le petit déjeuner idéal**

HISTOIRE

20 **ACTUALITÉS** / Le pemier artiste serait Neandertal / Un mystérieux « homme-dragon » / La plus ancienne victime d'un requin

78 **Dans les secrets d'un manuscrit franciscain**

82 **Un nouveau coffre-fort abrite les réserves du Louvre**

85 **Le dernier repas de l'homme de Tollund**

RENDEZ-VOUS

86 **Entretien avec Mathias Fink et Mickaël Tanter, pionniers de l'échographie ultrarapide**

90 **Autour d'un livre**

92 **Sélection livres**

94 **Expositions**

95 **Le ciel de septembre**

96 **Questions de lecteurs**

97 **Solution des jeux**

98 **Jeux**

RETROUVEZ NOS CHRONIQUES

41 **Maths : Sylvie Benzoni**

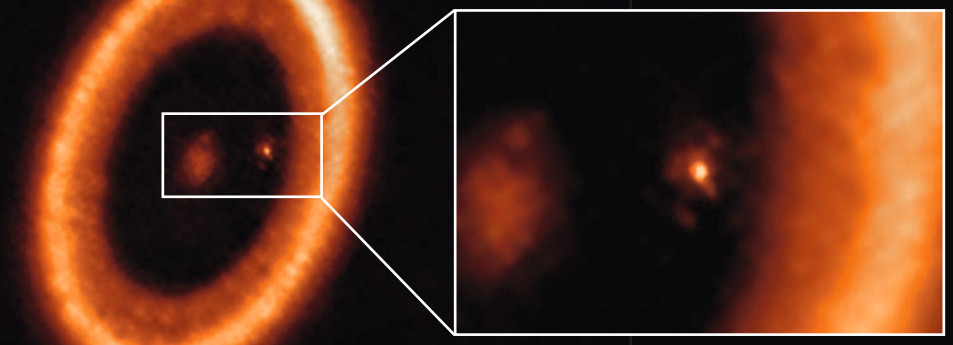
51 **Climat : Christophe Cassou et Céline Guivarch**

89 **Éthique : Jean-Gabriel Ganascia**

PHOTOS : G. CIRADE / SPL/ SUCRÉ SALÉ - B. RIEGER/HEMIS.FR - THOMAS LOUAPRE/DIVERGENCE - DMITRY KOSTYUKOV/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

Voici peut-être enfin une exolune

Elle aurait été détectée dans un système solaire en formation.



ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/BENISTY ET AL.

La protoplanète PDS 70c (zoom) en formation est entourée d'un disque de poussières suffisamment important pour donner naissance à une exolune.

ASTRONOMIE Un cliché pris par le radiotélescope Alma au Chili contient peut-être une lune en devenir. Régulièrement annoncée, puis démentie, la découverte de satellites autour d'exoplanètes — des exolunes — constitue l'une des grandes quêtes de l'astronomie actuelle. L'image montre un tout jeune système solaire de 10 millions d'années environ, avec en son centre l'étoile PDS 70. Elle est entourée au loin d'un disque de poussières à partir desquelles se forment les planètes.

Deux protoplanètes, PDS 70b et PDS 70c, des géantes gazeuses plus massives que Jupiter, ont ainsi été découvertes grâce au Very Large Telescope (VLT) en 2018 et 2019. L'observation dans le domaine des ondes radio par le télescope Alma a révélé que PDS 70c était elle-même entourée d'un disque de poussières d'environ trois fois la masse de notre satellite, assez important donc pour qu'une exolune soit en train de s'y former. Pour en avoir le cœur net, il faudra cependant attendre la mise en service d'instruments plus puissants, comme le télescope géant européen (E-LT) en cours de construction au Chili et qui doit être inauguré en 2025. **F. N.**

EN DEUX MOTS

MARS. Le petit hélicoptère de la Nasa, Ingenuity, qui accompagne le rover Perseverance sur Mars a effectué un douzième vol de reconnaissance mi-août dépassant la barre symbolique de 1 mile parcouru (1,6 km). **TÉLESCOPE.** Tombé en panne avant l'été, le télescope spatial Hubble qui scrute le ciel depuis 31 ans a finalement pu être remis en service. **EXPLORATION.** La Nasa a choisi la fusée Falcon Heavy de SpaceX pour son voyage vers la lune de Jupiter Europe, qui devra déterminer si celle-ci est propice à la vie.

160 000 000 °C

La température record du « Soleil chinois »

PHYSIQUE **À Hefei, dans le centre de la Chine, le tokamak supraconducteur expérimental avancé (EAST), l'un des six réacteurs à fusion chinois, a maintenu un plasma chauffé à 120 millions de degrés Celsius pendant 101 secondes et même jusqu'à 160 millions de degrés Celsius durant 20 secondes, un record mondial. À titre de comparaison, la température au cœur du Soleil est d'environ 15 millions de degrés Celsius.** **H. J.**

SOURCE : LI MIAO, UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE SHENZHEN, CHINE.

Le dernier soupir d'une étoile

ASTROPHYSIQUE 14 millions de fois plus d'énergie que toutes les étoiles de la Voie lactée, c'est la puissance libérée en moins d'une seconde par un sursaut de rayons gamma émis à 6,6 milliards d'années-lumière de la Terre et détecté en août 2020. Son origine : l'effondrement d'une étoile massive en trou noir ou étoile à neutrons. Une surprise car les sursauts si brefs étaient jusqu'ici attribués aux collisions entre étoiles à neutrons. **F. N.**

SOURCE : BINBIN ZHANG, NANJING UNIVERSITY, CHINE.

OLEG NOVITSKY / RUSSIAN SPACE AGENCY ROSCOSMOS / AFP

Nauka (à gauche) et le vaisseau russe Soyouz M-S 18 amarrés à l'ISS.

Un nouveau laboratoire pour l'ISS

ESPACE Attendu depuis plus de dix ans, le nouveau laboratoire russe Nauka (« science » en russe) s'est amarré à la Station spatiale internationale (ISS) le 29 juillet. Mais les propulseurs du module se sont ensuite allumés accidentellement, faisant basculer brièvement la station de 540°. Heureusement sans conséquences pour l'ISS, qui dispose désormais d'un volume supplémentaire de 70 m^3. **S. R.**

Qui vole dans l'espace n'est pas forcément astronaute

L'administration américaine dénie ce titre à Richard Branson et Jeff Bezos car ils n'ont pas participé au pilotage d'un vol à plus de 100 km d'altitude.

ESPACE Richard Branson et Jeff Bezos sont désormais des touristes spatiaux, mais pas des astronautes. Ainsi en a décidé l'Administration fédérale de l'aviation américaine (FAA) après les vols des milliardaires britannique et américain, respectivement les 11 et 20 juillet. Le premier a atteint l'altitude de 88 km à bord du vaisseau Unity de sa société Virgin Galactic. Soit en deçà de la ligne de Kármán, à 100 km d'altitude, qui définit la limite entre l'atmosphère et l'espace. Le second l'a bien dépassée, culminant à 107 km à bord de la capsule New Shepard de sa société Blue Origin. En tout dix personnes ont participé à ces deux vols pour goûter quelques minutes en apesanteur. Mais pour obtenir les « ailes » officialisant son statut d'astronaute, il faut aussi avoir participé au pilotage et contribué à la sécurité du vol, stipule désormais la FAA. Une nuance qui distingue un Neil Armstrong d'un Jeff Bezos. Qu'à cela ne tienne, Blue Origin a conçu ses propres « ailes », décernées aux quatre participants à son vol. **S. R.**

JOE RAEDLE / GETTY IMAGES NORTH AMERICA / GETTY IMAGES VIA AFP

Après son vol spatial, Jeff Bezos (à gauche) a reçu des « ailes » d'astronaute créées par… lui-même.

L'astéroïde Bénou ne menace pas la Terre

ASTRONOMIE **Considéré comme l'un des géocroiseurs présentant le plus de risque pour la Terre, l'astéroïde Bénou et ses 525 m de diamètre n'aurait qu'une chance sur 1750 de percuter notre planète d'ici à l'an 2300 (soit un risque de 0,057%) selon de nouveaux calculs la Nasa. Il passera cependant tout près en 2135, à seulement la moitié de la distance séparant la Terre de la Lune.** **H. J.**

1715 Le nombre de systèmes stellaires avec vue sur Terre

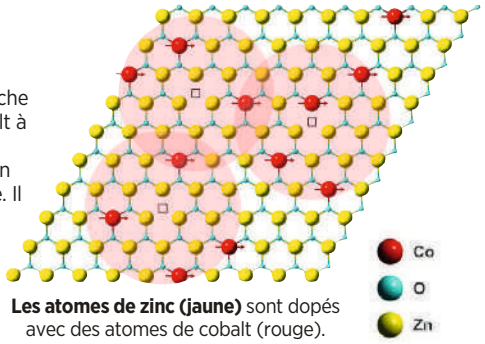
ASTROPHYSIQUE **Parmi ces astres, 29 potentiels mondes habitables auraient pu capter des ondes radio en provenance de la Terre lors des 5000 dernières années. C'est ce qu'ont calculé deux astrophysiciennes, à partir des données de la mission spatiale Gaia de l'ESA, l'agence spatiale européenne.** **L. F.**

SOURCE : L. KALTENEGGER, UNIVERSITÉ CORNELL, ITHACA, ÉTATS-UNIS.

L'aimant le plus fin du monde

MATÉRIAUX Un atome ! C'est l'épaisseur de l'aimant le plus fin au monde mis au point par une équipe américaine. Il se compose d'une couche d'oxyde de zinc dopée avec du cobalt à l'origine du magnétisme. C'est le premier du genre à ne pas perdre son aimantation à température ambiante. Il pourrait être utilisé en électronique permettant de miniaturiser davantage encore tablettes et smartphones. **F. N.**

SOURCE : RUI CHEN, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À BERKELEY, ÉTATS-UNIS.



BERKELEY LAB.

Les atomes de zinc (jaune) sont dopés avec des atomes de cobalt (rouge).

À VOIR SUR LE NET

OREGON STATE UNIVERSITY

Une IA entraîne un robot à courir

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE Cassie est une machine bipède inspirée de l'autruche qui a réussi à parcourir 5 km en 53 min et 3 s sur route ouverte, sans caméra ni radar. Le robot a été entraîné par apprentissage par renforcement, une méthode d'intelligence artificielle fondée sur l'essai-erreur. Fastidieux et risquant d'abîmer le robot, l'entraînement a d'abord été mené virtuellement avec une modélisation 3D de Cassie. **A. D.**

SOURCE : JONAH SIEKMAN, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE L'OREGON, ÉTATS-UNIS.

sciav.fr/895Cassie

ROBERTO NERI

QUESTIONS À

Roberto Neri,

astronome à l'Institut de radioastronomie millimétrique

On a vu derrière un trou noir

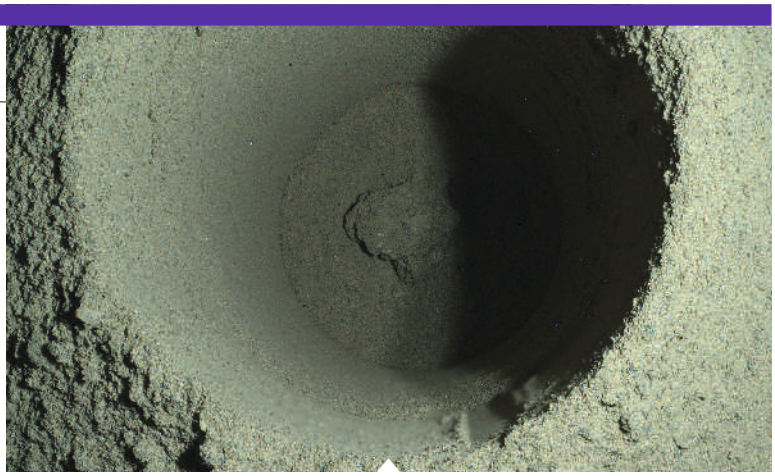
Une équipe internationale de chercheurs menée par l'université Stanford (États-Unis) a annoncé dans la revue *Nature* avoir capté de la lumière X émise depuis l'arrière du trou noir I Zw 1, situé à 800 millions d'années-lumière.

Qu'est-ce qui a été observé exactement ?
Le trou noir I Zw 1 connaît des éruptions de rayons X dans une sphère enveloppant la partie interne de son disque d'accrétion. Certains rayons nous parviennent en ligne droite quand d'autres sont réfléchis par le disque à l'avant et à l'arrière du trou noir. Du fait d'un parcours plus long, les rayons X réfléchis arrivent décalés dans le temps avec une fréquence modifiée. Cela permet de les distinguer des rayons directs. C'est ce qu'est parvenue à faire l'équipe d'astronomes.

Pourquoi insister sur le fait qu'une partie de la lumière vient de « derrière » cet astre ?
Parce que cela vérifie une prédiction de la relativité générale. La lumière émise derrière un astre devrait être masquée à nos regards. Mais la masse du trou noir déforme tellement l'espace-temps autour de lui que certains rayons, déviés, finissent par pointer vers nous alors qu'ils partaient dans une tout autre direction.

Quelle est la différence avec la première image obtenue d'un trou noir en avril 2019 ?
L'image du trou noir M87* situé au centre de notre galaxie ne permettait pas à elle seule de distinguer l'avant de l'arrière du disque d'accrétion. Pour cela, il a fallu lui adjoindre des données complémentaires obtenues par d'autres instruments.
Dans le cas de I Zw 1, les chercheurs n'ont pas vu le disque. En revanche, le parcours des rayons X réfléchis ne peut s'expliquer que par lui. C'est une preuve de son existence, et que des photons proviennent bien de l'arrière du trou noir.

Propos recueillis par F. N.


NASA/JPL-CALTECH/MSSS

Un sol trop friable a entraîné la désintégration de la carotte au fond du trou de forage.

Disparition mystérieuse sur Mars

PLANÉTOLOGIE Le 6 août 2021, le rover Persévérance a réalisé son premier carottage à la surface de Mars. Selon ses instruments, tout s'était bien déroulé. À ceci près que le tube censé contenir les échantillons… s'est révélé vide ! Après une enquête éclair, Louisa Jandura, responsable de la collecte d'échantillons pour la Nasa, a expliqué que le sol était sans doute trop friable à l'endroit du prélèvement. La carotte s'est désintégrée et a fini en tas au fond du trou, ou dans les déblais autour. La prochaine tentative aura lieu début septembre, sur un autre type de terrain. **F. N.**

IL A DIT

« Nous avons repéré les motifs d'une déformation tectonique sur Vénus, processus guidé par des mouvements internes de la même manière que sur Terre »

Paul Byrne, professeur à l'université d'État de Caroline du Nord (États-Unis) et auteur d'une étude suggérant pour la première fois l'existence d'une tectonique des plaques sur Vénus.

NOIRLAB/NSF/AURA/J. DA SILVA

La comète Bernardinelli-Bernstein (vue d'artiste).

Une comète géante s'est réveillée

ASTRONOMIE Dans sa course vers le Soleil, qu'elle n'a pas visité depuis plus de 3 millions d'années et dont elle sera au plus près en 2031, la comète géante Bernardinelli-Bernstein (100 km de diamètre) a déjà commencé à développer une « chevelure ». Cet halo de gaz et de poussières, libéré sous l'effet de la chaleur stellaire, a été repéré par deux observatoires, en Californie et en Namibie. **S. R.**

62 800 milliards

Le record de décimales de pi

MATHÉMATIQUES
108 jours et 9 heures, c'est le temps qu'il a fallu à un super-ordinateur piloté par une équipe suisse pour établir un nouveau record de calcul du nombre pi (3,1415…) avec 62 800 milliards de décimales après la virgule. Les dix derniers chiffres connus de pi sont désormais : « 7817924264 ». H. J.

SOURCE : THOMAS KELLER, UNIVERSITÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DES GRISONS, SUISSE.

MON ASSURANCE DÉCÈS

ANTICIPER, POUR QUE MÊME SANS VOUS

VOTRE FAMILLE CONTINUE D'AVANCER.

Définissez avec votre conseiller un capital destiné à vos enfants en cas de décès, qui peut leur être versé en une fois ou mensuellement pour leurs études par exemple.

AGIR CHAQUE JOUR DANS VOTRE INTÉRÊT ET CELUI DE LA SOCIÉTÉ

Document à caractère publicitaire.
Mon Assurance Décès est un contrat d'assurance temporaire décès de groupe assuré par PREDICA, filiale d'assurance de personnes de Crédit Agricole Assurances. PREDICA S.A. au capital de 1029934935 € entièrement libéré, entreprise régie par le Code des Assurances – 334028123 RCS Paris. Siège social : 16-18 boulevard de Vaugirard - 75015 Paris. Les dispositions complètes du contrat, les limites et les modalités de mise en œuvre des garanties figurent dans la notice d'information.
Ce contrat est distribué par votre Caisse régionale de Crédit Agricole, immatriculée auprès de l'ORIAS en qualité de courtier d'assurance. Les mentions de courtier en assurances de votre Caisse sont disponibles sur mentionscourtiers.credit-agricole.fr ou dans votre agence Crédit Agricole. Sous réserve de la disponibilité de cette offre dans votre Caisse régionale.
08/2021 – Édité par Crédit Agricole S.A., agréé en tant qu'établissement de crédit – Siège social : 12, place des États-Unis, 92127 Montrouge Cedex – Capital social : 9276058473 € – 784608416 RCS Nanterre.
Crédit photo : Getty Images. BETC

Des coraux soignés en nurserie

Des spécimens de colonies abîmés sont régénérés afin d'être réintroduits en milieu naturel, dans la Méditerranée.

JAVIER SÁNCHEZ/CORAL GUARDIAN

La structure de soins a été installée dans les fonds de Punta de la Mona, au sud de l'Espagne.

OCÉANOGRAPHIE Pour tenter de sauver les massifs de coraux des eaux froides des fonds de Punta de la Mona, dans le sud de l'Espagne, le projet SOS Corales a inauguré au creux de l'été la toute première « nurserie de coraux » en mer Méditerranée. Cette structure de soins permet de transplanter les morceaux de colonie abîmés pour qu'ils s'y régénèrent avant d'être réintroduits en milieu naturel, dans des zones favorables à leur développement. Car les massifs coralliens de Punta de la Mona sont mal en point : des centaines de coraux sont brisés ou encombrés de filets de pêche, et nombre de fragments jonchant le fond sont recouverts d'organismes opportunistes qui les empêchent de se nourrir. Les associations à l'initiative de ce sauvetage, Equilibrio Marino et Coral Guardian, s'attaquent ainsi au nettoyage et à la restauration d'un écosystème qui héberge jusqu'à 29 fois plus de faune que des zones sans coraux et abrite notamment le corail chandelier (*Dendrophyllia ramea*), une espèce menacée d'extinction mal connue. **S. R.**

BARBARA KLUMP / MAX PLANCK INSTITUTE OF ANIMAL BEHAVIOR / AFP

À VOIR SUR LE NET

Les cacatoès apprennent à ouvrir les poubelles

ÉTHOLOGIE En Australie, les cacatoès à huppe jaune apprennent à ouvrir les couvercles des poubelles grâce à leurs interactions sociales. En analysant l'apparition de ce comportement alimentaire opportuniste dans l'espace et le temps, les chercheurs montrent qu'il n'est pas dû à des facteurs génétiques mais bien à un savoir-faire qui se transmet de cacatoès en cacatoès. **T. T.** sciav.fr/895Cacaotes

SOURCE : BARBARA KLUMP, INSTITUT MAX-PLANCK, ALLEMAGNE.

L'ours polaire chasse à coups de blocs de glace

ÉTHOLOGIE Des observations comportementales d'ours blancs en captivité semblent bien confirmer les récits de la culture inuite : quand ils chassent le morse, il arrive que des ours polaires se servent de gros blocs de glace ou de pierre pour fendre le crâne de ces proies coriaces. C'est ce que révèle une étude recoupant divers récits, documentant l'utilisation d'outils par ces ursidés et leur difficulté à venir à bout d'une proie jusqu'à deux fois plus lourde qu'eux. **H. J.**

SOURCE : IAN STIRLING, UNIVERSITY OF ALBERTA, CANADA.

LIBRARY OF CONGRESS

Illustration réalisée en 1865 par l'explorateur américain Charles Francis Hall.

Les loutres de mer ont le chauffage central

BIOLOGIE **Habituées aux eaux froides du nord du Pacifique, les loutres de mer ont pourtant très peu de graisses par rapport aux autres mammifères marins. Leur secret pour maintenir leur corps à 37 °C ? Des muscles squelettiques qui servent aussi à produire de la chaleur en brûlant à vide des calories. Un métabolisme singulier qui induit un gros appétit. P. K.**

SOURCE : T. WRIGHT, TEXAS A&M UNIVERSITY, ÉTATS-UNIS.

MINDEN PICTURES/H. MINAKUCHI/BIOSPHOTO

Les muscles du mammifère marin produisent de la chaleur.

Le riz doré OGM autorisé aux Philippines

AGRONOMIE Les Philippines sont devenues le premier pays au monde à approuver la production à des fins commerciales de « riz doré », une céréale OGM développée par le ministère de l'Agriculture philippin, en partenariat avec l'Institut international de recherche sur le riz. Le génie génétique transforme le riz doré en source de vitamine A afin de lutter contre les problèmes de carences et de malnutrition infantile. **H. J.**

Avec Open, on a tout à gagner à être en famille.

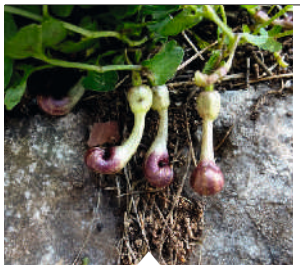
Série Limitée
Pack Open 70 Go
29 € 99 /mois
pendant 12 mois
puis 63,99 €/mois

Fibre + TV UHD + Fixe + Forfait mobile 70 Go et ajoutez jusqu'à 4 forfaits mobiles à prix avantageux.(3)

Soit pour les nouveaux clients Orange : remises immédiates de 14 €/mois(1) et remboursement différé de 5 €/mois pour l'internet avec changement d'opérateur(2) et de 15 €/mois pour le mobile. Offre soumise à conditions du 19/08 au 06/10/2021 réservée aux particuliers en France métropolitaine, valable sous réserve d'éligibilité, sur réseaux et terminaux compatibles. Engagement 12 mois. Location Livebox nécessaire, 3 €/mois inclus. Frais de résiliation : 50 €. Frais d'activation du décodeur : 40 €.

(1) Remises immédiates de 9 €/mois le Bon Plan et de 5 €/mois la remise La Fibre au prix de l'ADSL. **(2)** Remboursement différé sur facture de 5 €/mois pour les nouveaux clients internet avec changement d'opérateur après le 19/06/2021 et de 20 €/mois pour le mobile. Détails et formulaire sur odr.orange.fr. **(3)** Perte de l'avantage en cas de : changement d'offre, résiliation du Pack Open, demande de suppression du remboursement par le client Pack Open.

orange™



STAVROS APOSTOLOU

« Aristolochia microstoma » émet une odeur qui attire les insectes charognards.

Cette fleur mime l'odeur de mort

BOTANIQUE En Grèce, une espèce d'aristoloche aux fleurs de taille réduite, marron, au ras du sol et nauséabondes, a intrigué des botanistes allemands. Le tube floral de ces fleurs piégeait divers insectes dont une espèce de mouche apte à les polliniser et qui a la particularité de s'accoupler sur les cadavres d'insectes avant d'y pondre. L'analyse chimique de l'odeur de la fleur a révélé des composés mimant celle du cadavre en décomposition d'insectes précis, les coléoptères. **P. K.**

SOURCE : THOMAS RUPP, UNIVERSITÉ DE SALZBOURG, AUTRICHE.

P. BRACONNOT

QUESTIONS À

Pascale Braconnot

Chercheuse au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CEA/CNRS)

« Les perturbations du cycle de l'eau sont irréversibles »

Le rapport du Giec remis le 9 août met en évidence que les fortes précipitations se sont intensifiées depuis les années 1950.

De quelles façons la hausse des températures affecte-t-elle le cycle de l'eau ?
L'évaporation au-dessus des océans est plus intense et il y a donc plus de vapeur d'eau. Or celle-ci est le plus abondant des gaz à effet de serre. Pour chaque degré supplémentaire, la teneur en vapeur d'eau augmente de 7 %. C'est aussi le cas des fortes précipitations, alors que les précipitations moyennes varient plutôt de l'ordre de 1 à 3 % par degré de réchauffement.

Pourquoi les modèles prédisent-ils une augmentation des événements extrêmes ?
L'accroissement de la teneur en gaz à effet de serre liée à l'activité humaine perturbe l'équilibre énergétique du climat, ce qui a pour conséquence de modifier la répartition des précipitations entre les régions humides et sèches. Les averses sont plus intenses, plus brèves et plus localisées. Là où les périodes de pluies étaient autrefois prévisibles, les périodes de sécheresses s'allongent.

Ces tendances sont-elles irréversibles ?
Pour nombre d'entre elles, oui. Du fait de la durée de vie du CO_2 dans l'atmosphère (100 ans) qui continue à s'accumuler, la température des eaux océaniques va continuer à grimper, la banquise à fondre en Arctique avec des effets en cascade sur le cycle de l'eau. Mais nous pouvons encore atténuer ces effets en réduisant drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre.

Propos recueillis par L. C.

Les grands singes se font la guerre

PRIMATOLOGIE Dans le parc national de Loango, au Gabon, des chercheurs allemands ont observé pour la première fois des attaques menées par de nombreux chimpanzés sur des gorilles en infériorité numérique. Lors de deux affrontements distincts, les premiers ont tué deux très jeunes gorilles. Des tensions jamais observées entre ces espèces qui pourraient s'expliquer par le manque de nourriture dans la région certains mois. **A.-S. T.**

SOURCE : LARA SOUTHERN, INSTITUT MAX-PLANCK D'ANTHROPOLOGIE ÉVOLUTIVE, ALLEMAGNE.

MICHEL GUNTHER/BIOSPHOTO

Des attaques de chimpanzés contre des gorilles ont été observées au Gabon.

Un volcan sous-marin inédit

OCÉANOGRAPHIE Un type de volcanisme sous-marin inédit a été observé par une équipe de chercheurs allemands dans une plaine abyssale au large du Pérou. S'élevant à 300 m au-dessus du plancher océanique, un mont couvert de coulées récentes est pourtant situé dans une région géologiquement inactive, à des centaines de kilomètres des limites des plaques tectoniques et de tout point chaud. Il serait alimenté par une poche de magma localisée à environ 70 km de profondeur sous la plaine sous-marine. **S. R.**

SOURCE : C.W. DEVEY, INSTITUT D'OCÉANOGRAPHIE DE KIEL, ALLEMAGNE.

2,65 mm

La taille du plus petit papillon au monde

PATRICK CLEMENT

ENTOMOLOGIE Après des années passées à mesurer 2800 spécimens de plus de 650 espèces de petits papillons, un groupe de lépidoptérologues a finalement décerné le prix du plus petit d'entre eux à *Enteucha acetosa* décrit pour la première fois au XIXe siècle. La longueur de ses ailes antérieures atteint 1,3 mm en moyenne pour une envergure totale de 2,65 mm. **H. J.**

SOURCE : JONAS STONIS, INSTITUT D'ÉCOLOGIE DE VILNIUS, LITUANIE.

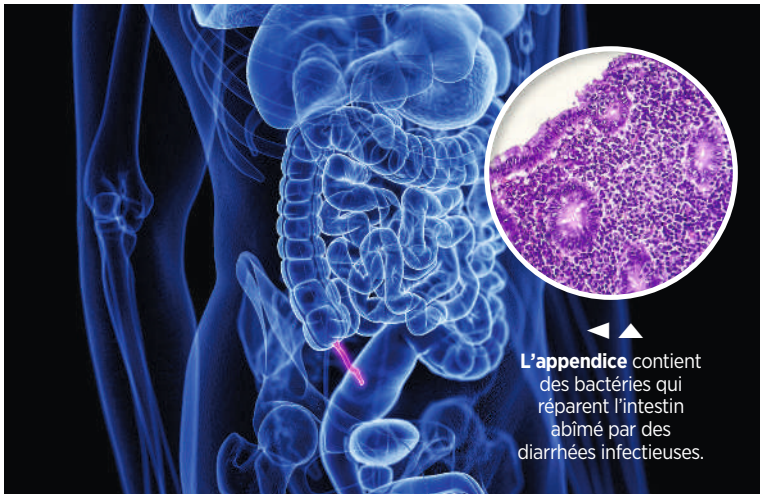
Vous pensiez vraiment que votre pote Thomas savait cuisiner ?

PANZANI

Des sauces oui, mais des Panzani.

PANZANI SAS au capital de 3 585 180 € – RCS LYON 961 503 422. Crédit photo : GettyImages. Suggestion de présentation.

POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE MANGER TROP GRAS, TROP SUCRÉ, TROP SALÉ. WWW.MANGERBOUGER.FR



SEBASTIAN KAULITZKI/SPL / AGE FOTOSTOCK ET KATERYNA KON/SPL / AGE FOTOSTOCK

L'appendice contient des bactéries qui réparent l'intestin abîmé par des diarrhées infectieuses.

L'appendice serait important pour la longévité

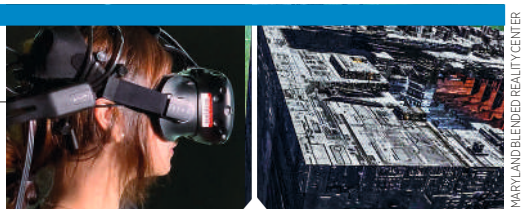
Il protégerait contre les diarrhées infectieuses, cause majeure de mortalité chez les mammifères, y compris l'humain.

ANATOMIE Surtout connu pour les crises d'appendicite nécessitant son ablation et longtemps considéré comme une excroissance sans fonction pour l'organisme, l'appendice trouve finalement ses lettres de noblesse. Selon une étude de l'Inserm et du Muséum national d'histoire naturelle, ce tout petit organe accroché à notre côlon et présent chez de nombreux mammifères serait apparu au moins à 16 reprises au cours de l'évolution. Signe qu'il conférerait un avantage sélectif à ceux qui le possèdent. À partir de l'analyse de 317 mammifères dont 43 porteurs d'un appendice, les chercheurs montrent dans le *Journal of Anatomy* qu'à taille égale, les espèces qui en sont dotées vivent plus longtemps que les autres. Une longévité qui pourrait être due à une meilleure protection contre les diarrhées infectieuses, cause majeure de mortalité chez les mammifères, y compris l'humain. En effet, les bactéries qui y logent seraient protégées et pourraient ensuite recoloniser l'intestin abîmé. Qu'on se rassure, selon les auteurs, l'ablation de l'organe est sans conséquence quand elle survient après une appendicite. **N. G. C.**

La voie neurale des éternuements enfin dévoilée

ALLERGOLOGIE Quand les cellules nerveuses du nez détectent des substances irritantes, elles relâchent un neurotransmetteur (neuromédine B) qui stimule un groupe de neurones dans le tronc cérébral connectés par leurs axones à la région du cerveau qui contrôle la respiration. C'est par ce chemin que s'active le réflexe protecteur de l'éternuement, dévoile une étude. Moduler cette voie neurale pour réduire ce réflexe pourrait permettre un jour de traiter des allergies sévères. **N. G. C.**

SOURCE : FENGXIAN LI, WASHINGTON UNIVERSITY, ÉTATS-UNIS.



MARYLAND BLENDED REALITY CENTER

La réalité virtuelle peut provoquer une cinétose.

Le « mal des transports » lu dans les ondes cérébrales

IMAGERIE C'est une première : en analysant l'activité cérébrale de personnes plongées dans une expérience immersive avec un casque de réalité virtuelle, des chercheurs ont suivi, dans le cerveau, les moments où se déclenche une cinétose, ou « mal des transports », sensation de nausée qui survient en bateau ou sur des routes tortueuses. **A. D.**

SOURCE : ERIC KROKOS, UNIVERSITÉ DU MARYLAND, ÉTATS-UNIS.

IL A DIT

« Les trois dernières années confirment encore l'importance du risque sectaire dans le domaine de la santé avec la multiplication d'offres pseudo-thérapeutiques parfois dangereuses »

Christian Gavrel, président de la Mission interministérielle de vigilance et de lutte contre les dérives sectaires (Miviludes), à l'occasion de la sortie du dernier rapport d'activité.

L'œil de Lascar

CINQ MILLIONS DE FRANÇAIS « À RISQUE » se verront proposer une troisième dose de vaccin anti-Covid à partir du 15 septembre. Cette campagne de rappels de vaccination devrait concerner les personnes immunodéprimées ou celles âgées de plus de 80 ans et vaccinées très tôt (janvier/février). **O. L.**

Un conseiller face à vous, c'est toute une banque à vos côtés.

Conseillers, experts patrimoniaux, financiers ou immobiliers, gestionnaires de portefeuilles : quels que soient vos projets, nous mobilisons tous nos experts pour vous aider à les réaliser.

C'est sans doute cet engagement et cette implication qui nous ont permis d'être récompensés en 2020 pour la qualité de notre accompagnement dans la réalisation de vos projets*.

Rendez-vous sur hsbc.fr/expert

LES TROPHÉES DE LA BANQUE 2020

SATISFACTION CONSEILLER PROJET par meilleurebanque.com

HSBC

*Les Trophées de la qualité bancaire sont décernés par meilleurebanque.com (société du Groupe meilleurtaux.com). L'édition 2020 de cette étude a été réalisée online en association avec l'Institut Opinion Way, entre le 27 septembre et le 23 octobre 2019, sur un échantillon de 5035 Français bancarisés et représentatifs de la population française âgée de 18 ans et plus. HSBC Continental Europe - Société anonyme au capital de 491 155 980 euros - SIREN 775 670 284 RCS Paris. Siège social : 38 avenue Kléber 75116 Paris. Banque et intermédiaire en assurance immatriculé auprès de l'ORIAS (Organisme pour le Registre des Intermédiaires en Assurance - orias.fr) sous le n° 07 005 894. Crédit photo : Getty Images.

La science a sa langue des signes

VULGARISATION Proton, neutron, électron, molécule… Aucun de ces termes ne se traduisait en langue des signes. C'est désormais chose faite grâce au projet Quantum Science in ALS, lancé en collaboration avec l'université Harvard (États-Unis). Avec une langue des signes spécialisée, les personnes sourdes ou malentendantes pourront plus facilement avoir accès aux sciences et à la recherche. **H. J.**

Ce nouveau signe a été inventé pour exprimer le mot « molécule ».

ASLCORE

Les bactéries ont le sens du toucher

MICROBIOLOGIE Les bactéries *Pseudomonas* potentiellement pathogènes utilisent un mécanisme similaire à notre sens du toucher pour diriger leurs mouvements en réponse aux propriétés mécaniques des surfaces rencontrées. C'est ce que révèle une étude qui les a observées se servir de leurs pili, des filaments de quelques nanomètres foisonnant à leur surface, comme une personne aveugle le ferait d'une canne. **H. J.**

SOURCE : MARCO KÜHN, EPFL, SUISSE.

PHOTO LIBRARY / CDC/ SCIENCE SOURCE

« Pseudomonas » sait diriger son mouvement en fonction des surfaces.

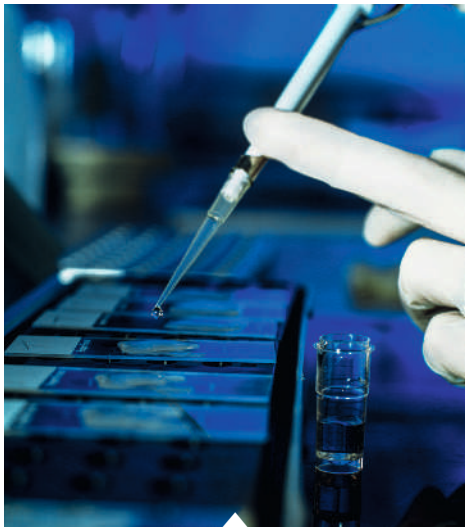
EN DEUX MOTS

GÉNÉTIQUE. Une maladie mortelle, l'amylose à transthyrétine, a été guérie chez six patients par une première thérapie génique avec l'outil CRISPR-Cas9. **NUTRITION.** La lutéine antioxydante des épinards ou du chou kale a un effet protecteur contre l'apparition de la DMLA, cause majeure de cécité chez les personnes âgées. **COGNITION.** Le contact quotidien avec un environnement naturel serait bénéfique au développement cognitif des adolescents, selon une étude.

La France met en pause ses recherches sur les prions

Cette mesure de précaution inédite a été prise après qu'une retraitée de l'Inrae a contracté la maladie de Creutzfeldt-Jakob.

INFECTIOLOGIE Cinq instituts de recherche publics en France (CNRS, Inserm, Anses, Inrae et CEA) ont décidé d'un moratoire de trois mois sur l'étude des prions, une classe de protéines infectieuses mal repliées qui provoquent des pathologies cérébrales mortelles comme la maladie de Creutzfeldt-Jakob (MCJ), la plus courante chez les humains. Valable au moins jusqu'à fin octobre, cette mesure de précaution inédite a été prise après qu'une MCJ a été diagnostiquée chez une employée de laboratoire retraitée de l'Inrae qui manipulait des prions dans le cadre de son travail. Une enquête est en cours pour évaluer si elle aurait effectivement pu être infectée au sein de son ancien laboratoire. Mais seules des analyses *post mortem* pourront *in fine* caractériser la nature exacte du prion responsable. Il pourrait s'agir du second cas de MCJ touchant un scientifique après celui d'une assistante ingénieure décédée des suites de la maladie en 2019, à l'âge de 33 ans, après s'être blessée en 2010 au cours d'une manipulation. Il faudrait alors réviser les conditions de sécurité pour l'étude des prions. **H. J.**



SCIENCE PHOTO LIBRARY/JAMES KING-HOLMES

Les conditions de sécurité de manipulation des prions en laboratoire pourraient être revues.

12

Le nombre de cancers détectables dans le sang

ONCOLOGIE Douze types de cancers peuvent être détectés à un stade précoce à partir de l'ADN tumoral circulant dans le sang, indique une vaste étude américaine soutenue par la société californienne Grail. Les cancers du pancréas, de l'ovaire, de l'œsophage et du poumon pourraient ainsi être décelés et traités plus rapidement. **P. K.**

SOURCE : E. A. KLEIN, INSTITUT D'UROLOGIE DE CLEVELAND, ÉTATS-UNIS.

RIVAGES
DU MONDE

Prendre le large, c'est essentiel.

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – Crédit Dreamstime

Croisières

EXPÉDITIONS

NORVÈGE • ARCTIQUE • ISLANDE • GROENLAND • SPITZBERG

A bord d'un véritable yacht d'expédition, conçu pour 180 passagers.
Un navire à propulsion hybride, pouvant stationner sans jeter l'ancre, pour une meilleure protection des sanctuaires marins. Des conférenciers spécialistes des régions polaires présents à bord.

SA01

Voguer. Échanger. Rêver

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

MAX-PLANCK INSTITUTE FOR EVOLUTIONARY ANTHROPOLOGY

QUESTIONS À

Jean-Jacques Hublin

Directeur du département Évolution de l'homme de l'Institut Max-Planck de Leipzig, Allemagne

Un mystérieux « homme-dragon »

Des paléontologues chinois ont jeté le trouble sur la chronologie du genre *Homo* en proclamant la découverte d'une « espèce sœur » de *sapiens*, qu'ils ont aussitôt baptisée *Homo longi*, « l'homme dragon ». Jean-Jacques Hublin décrypte cette annonce fondée sur l'analyse d'un crâne vieux de 146 000 ans retrouvé à Harbin, en Chine*.

Le « crâne de Harbin » est-il la preuve d'une nouvelle lignée humaine ?

Le fossile décrit est extrêmement intéressant, mais je suis très réservé sur l'interprétation qui en est faite, notamment la création de ce terme d'*Homo longi*. La structure de l'arbre évolutif et la date de divergence des lignées proposées sont en complète contradiction avec la génétique des populations développée depuis dix ans.

À quelle espèce peut donc appartenir ce fossile ?

Tout porte à croire que le crâne de Harbin est le plus complet fossile d'une espèce d'*Homo* encore mystérieuse, les dénisoviens, identifiés par ADN pour la première fois en 2010 en Sibérie. Malheureusement, sur ce fossile chinois, l'ADN ne s'est pas conservé. Mais nous en avons de nombreux autres de cette époque en Chine, et tout indique que ce sont des dénisoviens.

Comment cette lignée se serait retrouvée en Chine ?

Différentes espèces d'*Homo* sont sorties d'Afrique avant d'être remplacées par *sapiens*. L'ADN dénisovien montre que ce groupe correspond à une branche sœur des néandertaliens en Europe. Et des marqueurs génétiques en Australie et Nouvelle-Guinée montrent que l'humain moderne a dû s'hybrider avec des dénisoviens en passant par l'Asie du Sud.

Propos recueillis par E. G.

* RETROUVEZ L'INTÉGRALITÉ DE CETTE INTERVIEW : SCIAV.FR/895HUBLIN

JOAO ZILHAO, ICREA/AFP

La coloration de la stalagmite de la grotte d'Ardalès a été réalisée avec de l'ocre.

Le premier artiste serait Neandertal

Des marques rouges vieilles de 65 000 ans découvertes dans une grotte en Espagne sont attribuées à des néandertaliens.

PRÉHISTOIRE Alors que la date d'apparition de l'art pariétal fait toujours débat, de nouvelles analyses réalisées dans la grotte d'Ardalès, en Andalousie (Espagne), confirment que des néandertaliens sont bien les auteurs de 24 marques rouges vieilles de 65 000 ans. L'hypothèse d'une coulée naturelle d'oxyde de fer vient d'être balayée par les résultats d'analyses des résidus de pigments collectés sur un impressionnant drapé de concrétions minérales (spéléothèmes). L'examen révèle que ces marques ont bien été faites avec de l'ocre rapportée de l'extérieur de la grotte. Mieux, la datation de différents échantillons montre que la voûte stalagmitique de la cavité aurait été peinte intentionnellement sur plusieurs milliers d'années. Signe, selon l'étude parue dans la revue américaine *PNAS*, de possibles comportements symboliques transmis de génération en génération. De quoi permettre à Neandertal de prétendre au titre de premier artiste pariétal. **B. A.**

28 virus inconnus sortis des glaces

PALÉOMICROBIOLOGIE L'analyse de deux carottes de glaces, prélevées à plus de 6500 mètres d'altitude sur la partie occidentale du plateau tibétain, a révélé la présence de 33 virus emprisonnés là depuis près de 15 000 ans. Des micro-organismes qui seraient originaires des sols et végétaux de l'époque et dont 28 étaient complètement inconnus. **H. J.**

SOURCE : ZHI-PING ZHONG, UNIVERSITÉ DE L'OHIO, ÉTATS-UNIS

Les « bébés » ptérosaures savaient voler

PALÉONTOLOGIE Les ptérosaures étaient sans doute aptes au vol peu après être sortis de leur coquille. C'est ce que semblent indiquer deux indices glanés lors de l'analyse du squelette de trois petits : la surface de leurs ailes était proportionnellement plus importante que celle des adultes, et leur humérus, sur lequel elles étaient accrochées, plus solides encore que celui de leurs aînés. **J. I.**

SOURCE : DARREN NAISH, UNIVERSITÉ DE SOUTHAMPTON, ROYAUME-UNI.

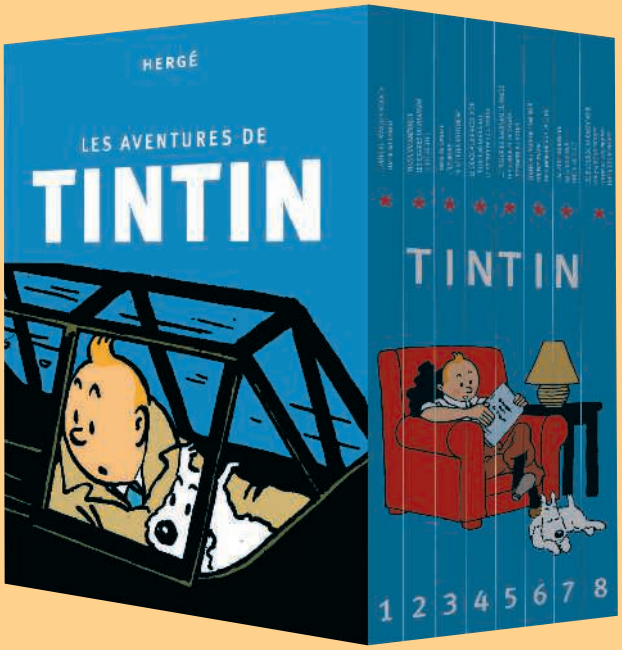
MARK WITTON

Les ailes des petits étaient proportionnellement plus grandes que celles des adultes (vue d'artiste).

SCIENCES ET AVENIR A SÉLECTIONNÉ POUR VOUS

Pour seulement 99€

L'INTÉGRALE DES AVENTURES DE TINTIN



© Hergé/Moulinsart 2021

À OFFRIR OU À S'OFFRIR !

L'édition ultime d'un chef-d'œuvre de la bande dessinée.

Ce coffret collector rassemble la totalité des 24 albums de Tintin, depuis *Tintin au pays des Soviets* jusqu'à *Tintin et l'Alph-Art.* L'occasion de redécouvrir et d'apprécier cette œuvre totalement intemporelle. 1694 pages couleur d'aventures et de suspense pour rêver, rire et voyager. 8 volumes. Format : 20 x 14 x 27 cm. 1694 pages.

BON DE COMMANDE SCIENCES AVENIR

À retourner accompagné de votre règlement à : L'Obs – Tintin – 67/69 avenue Pierre Mendès-France – CS 51402 – 75647 Paris cedex 13.

	Référence	Qté	Prix	TOTAL
L'intégrale *Tintin*	17934		**99€**	**€**
Frais de participation aux frais d'envoi				**+ 0,50€**
Total de ma commande				**€**

• Délai de livraison 2 semaines maximum • Offre valable en France métropolitaine.

❑ Je règle par CHÈQUE à l'ordre de : L'OBS

ADRESSE DE LIVRAISON :

☐ Mme ☐ M.

Nom : _____

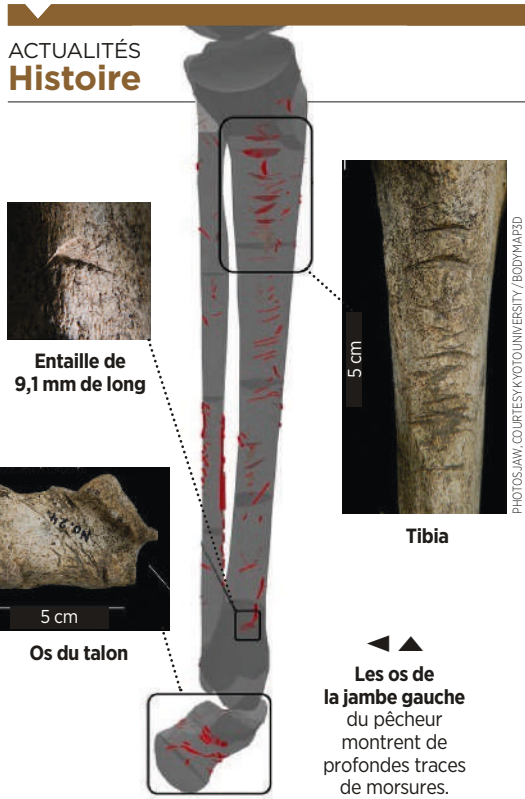
Prénom : _____

Adresse : _____

_____

Code Postal : _____ Ville : _____

Offre valable en France métropolitaine jusqu'au 31 décembre 2021. En retournant ce formulaire, vous acceptez que l'Obs, responsable de traitement, utilise vos données personnelles pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions marketing sur ses produits et services. Pour connaître les modalités de traitement de vos données ainsi que les droits dont vous disposez (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http/www.nouvelobs.com/donnees-personnelles.php ou écrivez à notre Délégué à la protection des données – 67/69 avenue Pierre Mendès-France – 75647 Paris cedex 13 ou dpo@groupelemonde.fr



Entaille de 9,1 mm de long

Os du talon

Tibia

PHOTOS JAW. COURTESY K. KYOTO UNIVERSITY / BODYMAP3D

Les os de la jambe gauche du pêcheur montrent de profondes traces de morsures.

La plus ancienne victime d'un requin

PALÉOPATHOLOGIE Un drame s'est joué près de la mer de Seto, au Japon, il y a près de 3000 ans. En témoigne le squelette d'un pêcheur exhumé d'un cimetière proche et criblé de quelque 790 blessures. Elles recouvrent les bras, une jambe, le torse et l'abdomen. L'autre jambe n'a pas été retrouvée de même que la main gauche, cisaillée… L'examen indique qu'un requin, tigre ou grand blanc, est responsable de ces lésions. De nos jours, des attaques sont toujours recensées dans cette zone. **J. I.**

SOURCE : A. WHITE, UNIVERSITÉ D'OXFORD, ROYAUME-UNI.

Visiter Venise par la voie romaine

ANTIQUITÉ Une route romaine a été mise au jour dans la lagune de Venise par une équipe de chercheurs de l'Institut italien des sciences marines. Grâce à un sonar, ils ont repéré 12 structures de forme régulière alignées sur 1140 mètres : les restes de la route devenue un agglomérat de pierres. Quatre autres ouvrages ont été repérés dont l'un pourrait représenter les restes d'un quai, vestige d'une installation portuaire. **A.-S. T.**

SOURCE : F. MADRICARDO, UNIVERSITÉ DE VENISE, ITALIE.

La route a été mise au jour dans le canal de Treporti (reconstitution).

ANTONIO CALANDRIELLO E GIUSEPPE DACUNTO (UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA)

RICHARD (BERT) ROBERTS

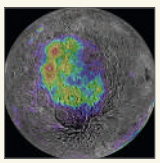
La grotte de Denisova (Sibérie) a été occupée par l'humain de Denisova, Neandertal, puis un hybride des deux et enfin « H. sapiens ».

En Sibérie, la grotte des humanités

PALÉOANTHROPOLOGIE L'étude de l'ADN environnemental de la grotte de Denisova en Sibérie révèle une occupation par différents représentants du genre *Homo*. Le premier résident fut l'humain de Denisova, il y a 250 000 ans, avant que les néandertaliens n'arrivent 80 000 ans plus tard. Ces deux espèces se sont croisées et même accouplées. Enfin, il y a 45 000 ans, des *Homo sapiens* ont eux aussi choisi de s'y installer. **J. I.**

SOURCE : ELENA ZAVALA, INSTITUT MAX-PLANCK D'ANTHROPOLOGIE ÉVOLUTIONNISTE, ALLEMAGNE.

www.sciencesetavenir.fr et www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et *La Recherche* au quotidien



NASA

ESPACE
La Nasa à la recherche du manteau lunaire
Sur les reliefs de la Lune, des scientifiques cherchent des emplacements qui dévoileraient une partie du manteau lunaire. Située sous la croûte, cette couche pourrait donner des indices sur la formation, non seulement de notre satellite, mais aussi de toutes les planètes du système solaire. **L. F.**
sciav.fr/895Lune

AFP

PRÉHISTOIRE
Les pérégrinations d'un mammouth en Arctique
Le parcours d'un mammouth laineux qui vivait il y a 17 000 ans a pu être reconstitué grâce à des analyses très fines d'une de ses défenses, conservée au musée du Nord de l'université d'Alaska, révélant que l'animal a été un très grand voyageur.
sciav.fr/895Mammouth

PHILIPE MASON

CHIMIE
De l'eau dorée et métallique
À l'aide d'un alliage métallique sous vide sur lequel se greffent des molécules d'eau, une équipe internationale de chercheurs a généré une goutte d'eau métallique, d'abord dorée, puis prenant des teintes bleutées. Une prouesse chimique à découvrir en vidéo.
sciav.fr/895Eaumetal

Vous êtes déjà plus de 2 millions à nous suivre sur Facebook

MAGAZINES, JOURNAUX, CARNETS, ENVELOPPES...

TOUT SAVOIR POUR NE PAS SE TROMPER DANS LE TRI DES PAPIERS

Vous êtes le premier acteur du recyclage grâce à votre geste de tri des papiers.
Tout savoir pour ne pas se tromper.

1. TOUS LES PAPIERS DU QUOTIDIEN SE RECYCLENT

Feuilles de papier, enveloppes, cahiers, journaux, magazines... sont parfaitement recyclables. Même avec des agrafes, spirales ou avec des éléments en plastique… Lors du recyclage, le papier est traité en plusieurs étapes de nettoyage et filtrage qui les éliminent.

2. ATTENTION, IL EXISTE DES FAUX-AMIS

Certains papiers portent le nom de papier mais ne se recyclent pas. Par exemple tous les papiers d'hygiène ou certains papiers cadeaux qui sont en plastique. D'autres « papiers » comme le papier photo ou le papier peint ont des traitements (plastification, résistance à la lumière, colle...) qui altèrent leur capacité de recyclage. Ils sont donc destinés au bac des ordures ménagères.

3. LES CONSIGNES DE TRI PEUVENT VARIER SELON LES COMMUNES

Vous l'aurez peut-être remarqué, on ne trie pas de la même façon partout en France, parfois tous les emballages et les papiers vont dans le même bac, parfois il faut les séparer. Peu importe le dispositif de collecte de nos papiers, ils sont traités pour être recyclés.

CITEO

Explorer

Quel serait le mode de propulsion le plus efficace pour entreprendre un voyage interstellaire ? Dans ce dossier très futuriste mais reposant toujours sur des travaux de recherche existants, « Sciences et Avenir » détaille les différents projets, du plus surprenant (plier l'espace-temps !) au plus réaliste.

Dossier réalisé par
Fabrice Nicot
et Sylvie Rouat

Le 15 septembre sortira sur les écrans français le film *Dune* du Canadien Denis Villeneuve. Cette nouvelle adaptation de la saga de l'Américain Frank Herbert décrit un univers futuriste dans lequel l'humanité s'est propagée sur des centaines de mondes dans la Galaxie. Qu'il s'agisse de quitter une Terre devenue invivable, comme dans le film *Interstellar* de Christopher Nolan (2014), ou de résoudre de futurs problèmes de pression démographique, le thème des colonies spatiales est régulièrement exploré par la science-fiction depuis les années 1920. Toutefois, celui-ci prend aujourd'hui une tournure plus réelle, alors que SpaceX, la société d'Elon Musk, s'apprête, au moment où nous écrivons, à tester en orbite un prototype de son vaisseau Starship. C'est en 2017 que le milliardaire américain a annoncé vouloir construire un vaisseau capable de transporter 100 colons vers Mars au cours de cette décennie. Preuve que le projet commence à prendre forme : en avril, la Nasa a sélectionné cet engin pour assurer le retour des humains sur la Lune à l'horizon 2024. Mais son mode de propulsion classique — chimique — ne lui permettra pas d'aller au-delà de l'orbite martienne et encore moins de quitter le Système solaire. Lancée en 1977, la sonde Voyager 1 est le premier objet terrestre à avoir franchi cette frontière et le plus lointain

l'espace

Temps de parcours à destination de...

TYPE DE PROPULSION	La Lune	Mars	Jupiter	Alpha du Centaure	Le centre de la Galaxie
Distorsion de l'espace-temps (à la vitesse de la lumière)	1,25 seconde	3 minutes	33 minutes	4,3 ans	300 siècles
Antimatière (à 50 % de la vitesse de la lumière)	2,5 secondes	7 minutes	1 heure	9 ans	600 siècles
Laser (à 20 % de la vitesse de la lumière)	6 secondes	17 minutes	3 heures	22 ans	1500 siècles
Fusion (à 10 % de la vitesse de la lumière)	13 secondes	34 minutes	6 heures	43 ans	3000 siècles
Plasma (1800000 km/h)	13 minutes	1,5 jour	14 jours	26 siècles	180000 siècles
Nucléaire (à 80 000 km/h)	5 heures	32 jours	10 mois	585 siècles	4 millions de siècleS
Chimique (à 40 000 km/h)	10 heures	65 jours	20 mois	1170 siècles	8 millions de siècles

PHOTOS: G.CIRADE/SPL/SUCRE SALE - NASA - STSC - HUBBLE

désormais, à 153 UA (unité astronomique, soit la distance Terre-Soleil, 150 millions de kilomètres). *« Si la distance Terre-Soleil était de un mètre, Voyager serait ainsi à 150 mètres,* explique Roland Lehoucq, astrophysicien au CEA*. *Mais elle est encore à 272 km de Proxima du Centaure, l'exoplanète la plus proche du Soleil, soit 272 000 UA à franchir. Avec une vitesse moyenne de 3 UA par an, elle y sera dans 90 000 ans…* »
Un voyage interstellaire nécessite donc de mettre au point un nouveau mode de propulsion. Plusieurs pistes sont à l'étude. La plus prometteuse consiste à « plier » l'espace-temps : il ne s'agit plus d'augmenter la vitesse du vaisseau de façon classique, mais d'utiliser la flexibilité de l'espace-temps pour l'emporter plus vite que la lumière, comme un surfeur sur la vague. C'est ce qu'explore la technique dite du Warp Drive théorisée par le physicien mexicain Miguel Alcubierre en 1994 et récemment revisitée par le chercheur allemand Erik Lentz *(p. 27)*. Une autre méthode est illustrée par le vaisseau *Venture Star* dans le film *Avatar* de James Cameron (2009). Pour arriver sur Pandora, à 4,3 années-lumière de distance de la Terre, la durée du voyage annoncée est de 5 ans 9 mois et 22 jours. *« Cela signifie que le vaisseau a atteint des vitesses d'environ les deux tiers de la vitesse de la lumière,* souligne Roland Lehoucq. *Si on estime que ce vaisseau a une masse d'environ 1 million de tonnes, le carburant utilisé ne peut être que de l'antimatière* [lire p. 28]. *Le problème, c'est que celle-ci n'existe pas à l'état naturel. Or sa production pour un tel vaisseau nécessiterait 150 000 ans de consommation énergétique humaine actuelle!* »

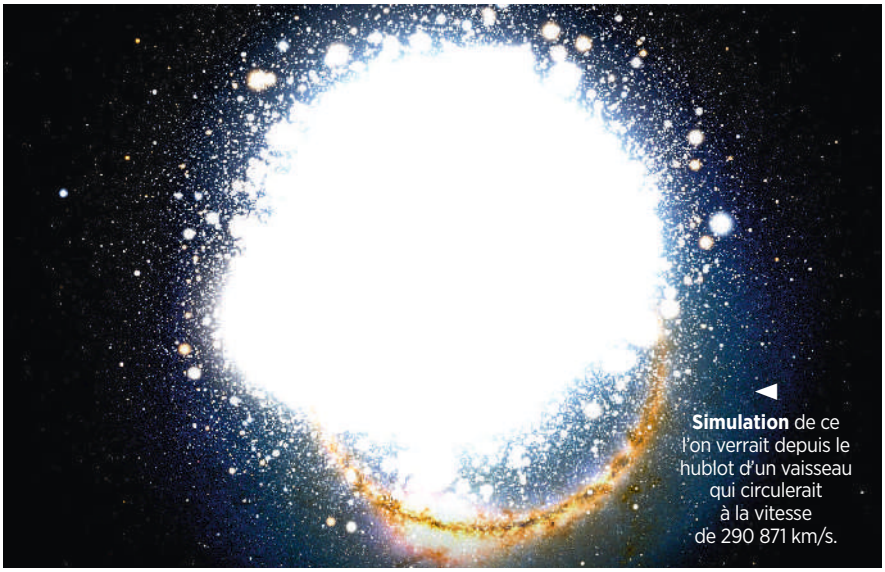
OPALE/LEEMAGE

« Avec les moyens de propulsion actuels, la sonde Voyager 1 n'atteindra Proxima du Centaure que dans 90 000 ans »

Roland Lehoucq, astrophysicien au CEA, à Saclay (Essonne)

La prophétie de Steven Hawking

Fusion et fission nucléaires, bulles de plasma sont autant d'autres sources d'énergie possibles, qui permettraient de chauffer et d'éjecter des gaz à des vitesses et des quantités aussi grandes que possibles, de sorte que cela donne une poussée qui, maintenue durablement, permettrait de fournir au vaisseau une vitesse importante. Une autre solution consisterait à propulser des voiles au moyen de lasers terrestres surpuissants *(p. 29)*. Cette piste était soutenue par l'astrophysicien britannique Stephen Hawking, qui en 2017 prophétisait que l'humanité serait un jour obligée de quitter la Terre. *« D'ici à 2600, la Terre va se transformer en une grosse boule de feu,* déclarait-il. *L'humanité doit faire des plans pour quitter la planète.* » Voici donc les premières pistes. ■ **S. R.**


ALAIN RIAZULELO

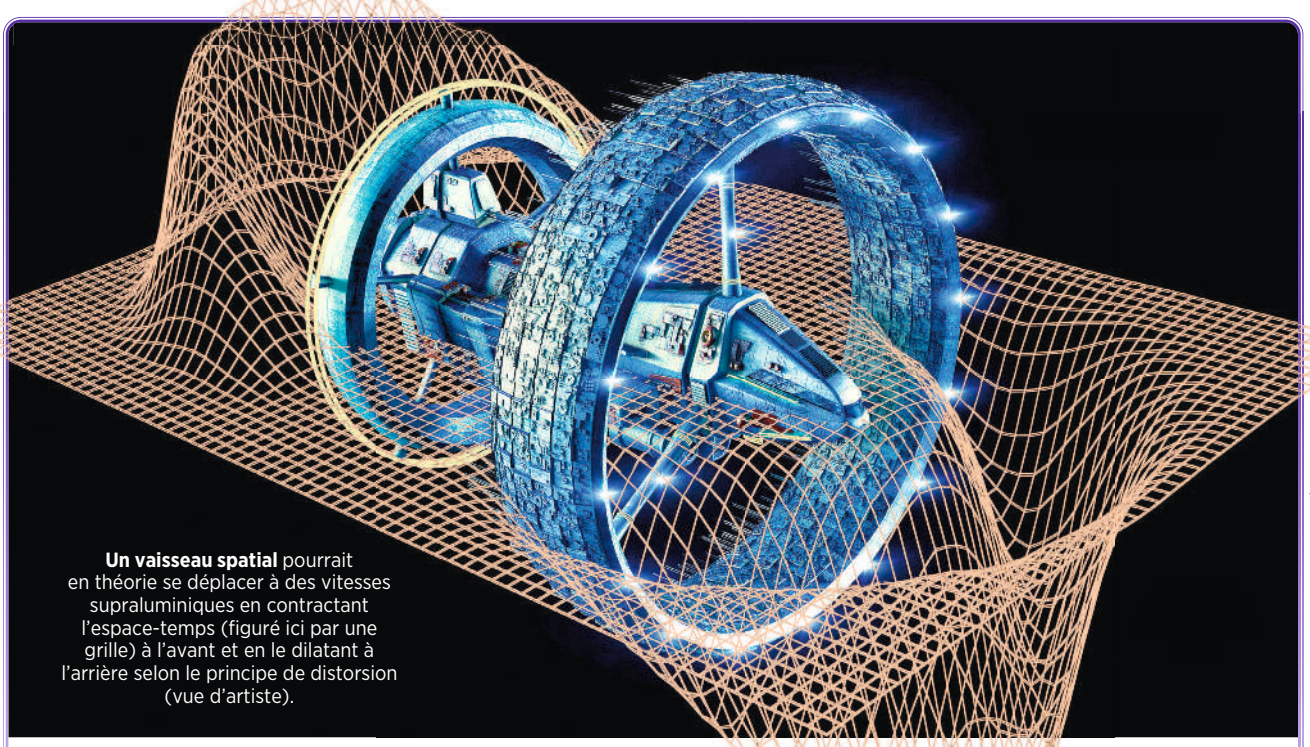
Simulation de ce l'on verrait depuis le hublot d'un vaisseau qui circulerait à la vitesse de 290 871 km/s.

SIMULATION

Ce que les passagers verront depuis le vaisseau

Les étoiles qui filent et s'étirent lorsqu'on file dans l'espace à grande vitesse : l'image est emblématique des films de science-fiction, mais est-elle vraie ? En réalité, lorsqu'un vaisseau augmentera sa vitesse pour s'approcher de celle de la lumière, ses passagers assisteront à un étrange phénomène. L'ensemble du paysage céleste semblera se rétrécir vers l'avant, donnant l'impression paradoxale de s'en éloigner. Les constellations situées sur le côté du vaisseau passeront devant lui. La Voie lactée, qu'il n'est normalement pas possible de voir dans son intégralité, formera une boucle dans leur champ de vision. Connu sous le nom d'aberration de la lumière, ce phénomène optique est lié au fait que la direction apparente d'un astre lumineux dépend de la vitesse de l'observateur.

* Voir aussi le Twitch de *Sciences et Avenir* « Voyager à l'autre bout de l'Univers » avec Roland Lehoucq : sciav.fr/895Lehoucq



Un vaisseau spatial pourrait en théorie se déplacer à des vitesses supraluminiques en contractant l'espace-temps (figuré ici par une grille) à l'avant et en le dilatant à l'arrière selon le principe de distorsion (vue d'artiste).

G. CIRADE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/SUCRE SAL

OBJECTIF : ATTEINDRE LE CŒUR DE LA GALAXIE **HORIZON :** INCONNU

Le moteur à distorsion pour aller plus vite que la lumière

La vitesse de la lumière dans le vide, soit 300 000 km/s, est-elle vraiment indépassable ? En réalité, cette limite vaut pour la matière et l'énergie mais pas pour l'espace-temps lui-même : la relativité générale indique que ce dernier se déforme sous l'effet de la masse ou de l'énergie à n'importe quelle vitesse. Le principe du moteur à distorsion — qui n'est encore qu'un sujet d'étude — consiste à utiliser cette plasticité pour propulser un vaisseau. Comme si, au lieu de nous déplacer sur un tapis, c'était celui-ci qui nous emportait. Dès 1994, le physicien mexicain Miguel Alcubierre imagine ainsi qu'un engin capable de dilater l'espace-temps derrière lui, et de le contracter devant, atteindrait des vitesses supérieures à celle de la lumière. En pratique, de la matière ordinaire très dense permettrait la contraction à l'avant. En revanche, selon ses calculs, seule une matière à densité d'énergie négative pourrait dilater l'espace à l'arrière. Or l'énergie est une grandeur toujours positive. À moins de débusquer cette énergie négative, le moteur à distorsion semblait donc dans l'impasse… Jusqu'en mars dernier.

Le vaisseau contracterait la matière à l'avant et dilaterait l'espace à l'arrière

Dans un article publié dans la revue *Classical and Quantum Gravity*, le physicien allemand Erik Lentz, de l'université de Göttingen, reprend les équations de la relativité générale et, explorant un nouveau type de solutions, parvient à éviter de recourir à l'énergie négative. Selon lui, un plasma très dense composé de particules chargées circulant à des vitesses proches de celle de la lumière permettrait de générer une sorte de vague d'espace-temps sur laquelle surferait le vaisseau. Mais construire une vague de 100 m demanderait alors de convertir l'équivalent de 10 % de la masse du Soleil en énergie. Pour l'heure, cela reste donc un rêve. ■ **F. N.**

Dans le film « Avatar », l'imposant vaisseau interstellaire « Venture Star », propulsé grâce à l'antimatière, assure en moins de six ans la liaison Terre-Pandora, une lune du système Alpha du Centaure. L'engin est si gigantesque qu'il reste en orbite autour de la lune, pour ne pas se disloquer dans son atmosphère.

OBJECTIF : PROXIMA DU CENTAURE **HORIZON :** XXIIIE SIÈCLE

Des vols interstellaires grâce au moteur à antimatière

Avec la promesse d'une vitesse de pointe proche de 50 % de celle de la lumière, l'antimatière offre de sérieuses perspectives pour envisager un jour de rejoindre les étoiles. Mais pour l'heure, elle semble cantonnée à l'*Enterprise*, le vaisseau de *Star Trek* qui l'utilise ou, probablement, le *Venture Star* du film *Avatar* d'après les données de ses temps de vol. « *C'est pourtant un sujet bien plus concret qu'on ne le croit,* affirme Pascal Bultel, expert « Enjeux Grand Futur » pour le Centre national d'études spatiales (Cnes). *L'antimatière existe. Nous savons la fabriquer, la stocker, mais en quantité infime : quelques nanogrammes. Pour alimenter un réacteur de fusée, il en faudrait au moins des milligrammes. Mais ce changement d'échelle n'est pas hors de portée à long terme.* »

Un moteur à antimatière fonctionnerait sur le même principe qu'un réacteur classique : l'énergie libérée par l'annihilation matière-antimatière provoque une puissante poussée, selon le principe d'action-réaction. Lorsqu'une particule de matière rencontre son double d'antimatière, 100 % de leur masse est transformée en énergie. « *Il suffirait d'à peine 30 milligrammes pour un aller-retour Terre-Mars avec un équipage* », estime Pascal Bultel. À titre de comparaison, la fusée Saturn V qui a propulsé l'équipage d'Apollo XI vers la Lune, a brûlé quasi 3000 tonnes d'ergols…

L'énergie libérée par annihilation matière-antimatière provoquerait une puissante poussée

La difficulté majeure consiste à fabriquer et stocker l'antimatière en quantité. « *Elle n'est produite que par collisions entre particules, ce qui demande beaucoup d'énergie, avec un rendement exécrable, de l'ordre de 1/10 000 000* », déplore Pascal Bultel. Aujourd'hui, seuls les collisionneurs du Cern, à Genève, et du Fermilab, aux États-Unis, en fabriquent à des fins de recherche. Or, « *emporter 1000 personnes vers Proxima du Centaure demanderait plus d'une centaine de tonnes d'antimatière. Donc, soit il faudra embarquer un accélérateur de particules dans le vaisseau pour fabriquer le combustible en route, soit celui-ci devra être produit avant le départ.* » Départ qui alors ne pourra se faire depuis la Terre car les usines à antimatière devront être installées à proximité immédiate d'une source primaire d'une puissance gigantesque : le Soleil. De plus le « plein » devra être fait au-delà de l'orbite de Neptune, « *car si jamais le stock d'antimatière explosait dans le Système solaire interne, les dégâts sur Terre pourraient être considérables* », avertit Pascal Bultel.

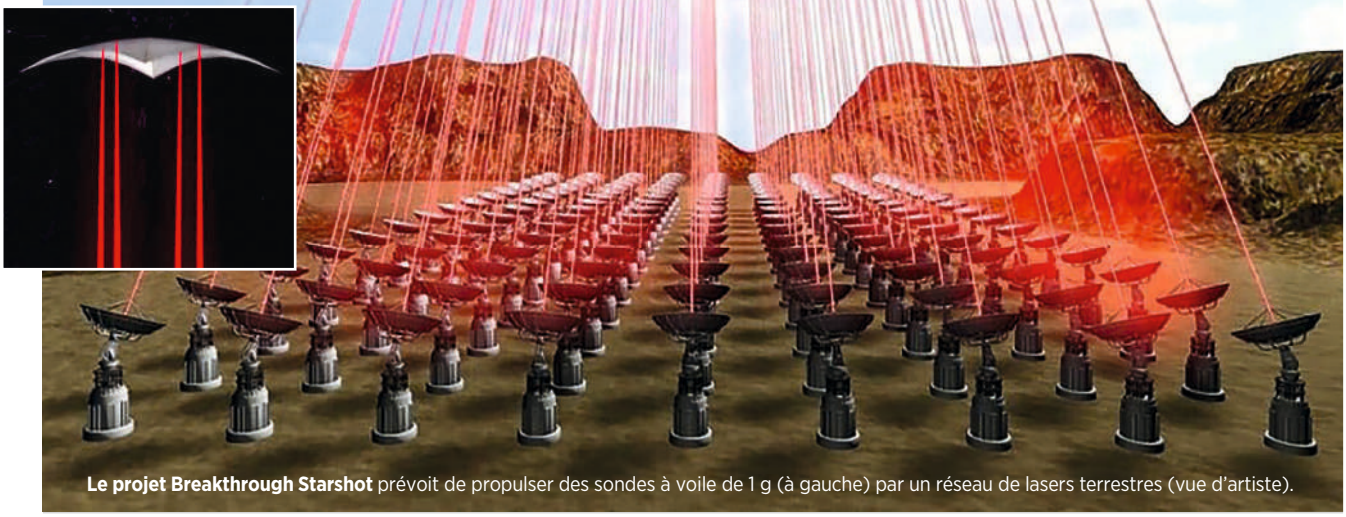
Pour ce qui est du réacteur, la Nasa a publié en 2006 un concept reposant sur des électrons et leurs antiparticules, les positrons. Bien qu'assez simple, il serait capable déjà de faire mieux qu'un réacteur nucléaire thermique. Depuis, silence radio. Ce qui ne veut pas dire que son développement a été abandonné. Impossible de savoir. « *Si cela avait marché, le projet aurait été classé secret-défense* », s'amuse Pascal Bultel. ■ **F. N.**

20TH CENTURY FOX / BBQ_DFY / AURIMAGES

OBJECTIF : ALPHA DU CENTAURE **HORIZON :** 2036

Des voiles poussées par des lasers

Un essaim de milliers de sondes miniaturisées d'une masse de l'ordre du gramme et dotées de voiles propulsées par un faisceau laser terrestre : c'est le projet Breakthrough Starshot, lancé en 2016 par le physicien Stephen Hawking, l'homme d'affaires Iouri Milner et Mark Zuckerberg, fondateur de Facebook, et doté de 100 millions de dollars pour commencer les recherches. D'une puissance de 100 GW, le faisceau serait produit soit par un réseau de lasers terrestres orientables dont les faisceaux se combineraient en un seul, soit par un puissant laser installé en orbite. L'ambition : permettre aux sondes d'atteindre 20 % de la vitesse de la lumière et de rejoindre en vingt ans Alpha du Centaure, le système stellaire le plus proche de nous (4,37 années-lumière) et de survoler ses planètes, dont certaines pourraient être habitables. Selon Iouri Milner, ces sondes pourraient être lancées vers 2036. ■ **S. R.**



Le projet Breakthrough Starshot prévoit de propulser des sondes à voile de 1 g (à gauche) par un réseau de lasers terrestres (vue d'artiste).

PHOTOS : BREAKTHROUGH FOUNDATION

OBJECTIF : EXOPLANÈTES **HORIZON :** XXIIe SIÈCLE

La fusion permettrait de quitter le Système solaire

Avec la fusion nucléaire, un vaisseau spatial pourrait atteindre 10 % de la vitesse de la lumière. C'est certes moins qu'avec l'antimatière mais cela ouvre quand même la possibilité de quitter le Système solaire. Dans un réacteur à fusion, la poussée est générée par l'énergie libérée lors de la fusion de noyaux de deutérium et d'hélium-3. Les premiers sont extraits de l'eau de mer, les seconds doivent être fabriqués, ou bien rapportés de la Lune ! Ici, la principale difficulté consiste à organiser la rencontre entre ces noyaux, ce qui veut dire les confiner, grâce à de puissants champs magnétiques, et les accélérer avec des champs électriques afin qu'ils disposent d'assez d'énergie pour fusionner. Cette problématique rejoint celle de la production d'électricité par fusion. *« Le réacteur expérimental Iter, en construction à Cadarache [Bouches-du-Rhône], a pour objectif de mettre au point et d'étudier les conditions de cette fusion. Ses résultats serviront aussi le secteur de la propulsion spatiale »*, remarque Pascal Bultel, du Cnes, qui conclut avec la perspective d'une *« propulsion hybride : on étudie la possibilité de catalyser les réactions de fusion avec de l'antimatière »*. ■ **F. N.**

OBJECTIF : MARS ET AU-DELÀ **HORIZON :** 2050

Le moteur à plasma pour gagner les planètes lointaines

Le concept de propulsion de Fatima Ebrahimi, du laboratoire de physique du plasma de l'université de Princeton, aux États-Unis, promet de mettre les planètes extérieures du Système solaire (au-delà de Mars) à la portée des astronautes. Dans un article paru en décembre 2020 dans le *Journal of Plasma Physics*, la physicienne décrit l'utilisation de champs magnétiques pour projeter des particules de plasma — un gaz électriquement chargé — dans le vide spatial, ce qui propulserait un vaisseau à des vitesses 10 fois supérieures à celles des capsules actuelles. Mars pourrait être ralliée en moins de deux jours, au lieu de plusieurs mois avec la propulsion chimique actuelle. Les moteurs à plasma accélèrent des gaz ionisés grâce à des champs électriques. Mais leur poussée est faible. Cette fois, il s'agit d'utiliser le processus de « reconnexion magnétique », à l'œuvre lors des éruptions solaires : des lignes de champ magnétique se concentrent dans une zone de champ magnétique intense et une reconfiguration soudaine de celui-ci convertit l'énergie magnétique en une flambée d'énergie cinétique et une accélération de particules. Ce phénomène est reproduit au sein de tokamaks, ces dispositifs en forme de tore qui permettent d'étudier la physique des plasmas. Le tokamak produit des bulles magnétiques qui se déplacent à des vitesses de 20 à 500 km/s. Un moteur qui utiliserait à la fois l'éjection de particules de plasma et des bulles magnétiques disposerait d'une formidable poussée, qu'il est possible d'augmenter ou de diminuer en modulant la force des champs magnétiques. Enfin, ce nouveau concept permet, pour former le plasma, d'utiliser des atomes lourds ou légers, afin d'adapter la poussée nécessaire à chaque mission, les atomes plus petits se déplaçant plus rapidement. Prochaine étape : la construction d'un prototype. ■ **S. R.**

ESA/EAC

ANNA FOGTMAN CHERCHEUSE À L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE (ESA) *

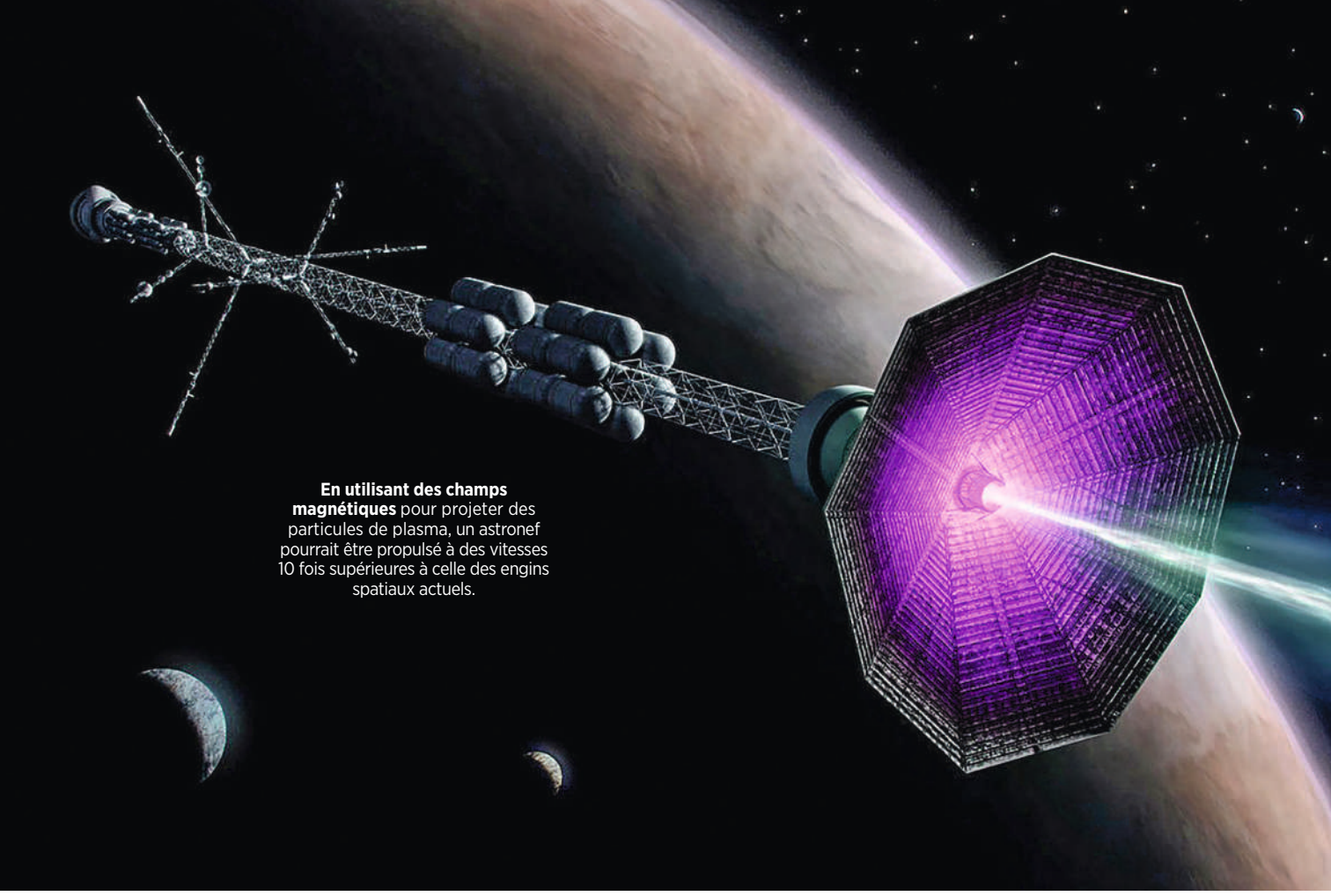
« L'hibernation protégera les astronautes des radiations »

Ce processus permettrait de préserver les fonctions cérébrales des astronautes des radiations lors de vols spatiaux de longue durée.

« L'accélération maximale que peut supporter un astronaute est de 9 G (neuf fois la pesanteur à la surface de la Terre) pendant quelques secondes. Les fluides corporels, dont le sang, se déplacent dans la direction du vecteur de force. Donc, si l'axe de force va de la tête aux pieds, le cœur n'aura pas la puissance nécessaire pour pomper le sang vers la tête, ce qui entraînera une perte de conscience et la mort si l'accélération est maintenue, le cerveau n'étant pas suffisamment oxygéné. Il est arrivé par le passé, lors de lancements et d'atterrissages hors norme, que l'accélération atteigne ponctuellement 20 G, mais cela n'a duré que quelques secondes et les astronautes étaient positionnés dans l'axe physiologique poitrine-dos, le plus favorable. Pour protéger les astronautes des radiations lors de vols spatiaux de longue durée, l'hibernation pourrait être utile : elle permettrait d'augmenter les capacités de réparation de l'ADN, d'abaisser la fréquence cardiaque et la température corporelle et de minimiser la perte musculaire. Ce processus protégerait ainsi les fonctions cérébrales des dommages causés par les radiations. Mais parviendra-t-on à la mettre en œuvre ? Nous n'en sommes encore qu'au stade de la recherche fondamentale et des études sur les animaux. » ■

Propos recueillis par S. R.

* Chargée des études de protection de la santé des astronautes en mission sur la Lune et au-delà.



En utilisant des champs magnétiques pour projeter des particules de plasma, un astronef pourrait être propulsé à des vitesses 10 fois supérieures à celle des engins spatiaux actuels.

ITER

OBJECTIF : DE LA LUNE À JUPITER **HORIZON :** 2030

Russes et Américains misent sur le nucléaire

La propulsion nucléaire est une solution deux à cinq fois plus efficace que l'impulsion chimique traditionnelle. C'est pourquoi Russes et Américains veulent la mettre en œuvre pour l'exploration future des planètes du Système solaire. Son principe consiste à utiliser la chaleur émise par le réacteur pour transformer un liquide propulsif en gaz qui créera une poussée en étant éjecté par une tuyère. Roscosmos, l'agence spatiale fédérale russe, a annoncé en mai la mise en chantier d'un remorqueur spatial baptisé Zeus, qui devrait être lancé en 2030 à destination de la Lune avant de se diriger vers Vénus et Jupiter. Les Russes développent depuis 2010 ce nouvel engin qui disposera d'un réacteur nucléaire de 500 kilowatts en vue d'emporter de lourdes charges (jusqu'à 22 t) dans son périple de quatre ans. Un tel moteur pourrait aussi servir pour des missions avec équipage. C'est le pari de la Nasa pour un futur vol habité vers Mars : cela permettrait de diviser par deux les temps de voyage, a annoncé l'agence américaine en février. De plus, un réacteur nucléaire n'est pas dépendant de la lumière solaire et produit de l'énergie durablement : plus de dix ans pour celui de Zeus. ■ **S. R.**

Le remorqueur spatial russe Zeus sera doté d'un réacteur nucléaire (vue d'artiste).

ARSENAL/ROSCOSMOS

Elon Musk, le fondateur de la société américaine SpaceX, prévoit d'établir sur Mars une colonie de plus d'un million de personnes d'ici à 2060, grâce à son vaisseau réutilisable Starship (vue d'artiste).

SPACEX STARSHIP

JACQUES ARNOULD EXPERT ÉTHIQUE AU CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES (CNES)

« Jusqu'où irons-nous dans l'exploration spatiale ? »

Le désir de l'humain d'aller toujours plus loin se conjuge avec le besoin d'assouvir sa soif de connaissances sur ses origines, celles du Système solaire mais aussi la vie elle-même.

« D'abord, demandons-nous d'où vient ce désir d'explorer l'espace. À l'origine, il y a cette propension de tout être vivant à étendre son territoire de vie. Mettez des bactéries dans une boîte de Petri et elles finiront par coloniser toute la surface. Mais nous, nous possédons en plus la curiosité qui nous pousse à découvrir ce qui se cache derrière la porte… ou derrière l'horizon. Enfin, nous sommes dotés d'un imaginaire pour nous projeter ailleurs, dans l'espace et le temps. Curiosité et imagination expliquent à mon sens cet élan qui nous a portés dans l'espace, un champ infini de découvertes.

Mais avant cela, il a fallu libérer ce désir censuré durant des siècles. Dans l'Antiquité, le cosmos, lieu parfait, est considéré comme le domaine des dieux, interdit aux mortels qui ne s'y voient même pas en rêve. Tout change au XVII^e siècle avec l'essor de l'astronomie. Grâce à son observation des cratères de la Lune à l'aide d'une lunette, Galilée (1564-1642) démontre qu'elle est de même nature que la Terre. Les cieux sont démythifiés. Le choc est tel que Kepler (1571-1630) lui écrit ces lignes prémonitoires : *« Créons des navires et des voiles adaptés à l'éther, et il y aura un grand nombre de gens pour n'avoir pas peur des déserts, du vide. En attendant, nous préparerons, pour les hardis navigateurs du*

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

OBJECTIF : MARS **HORIZON :** 2024

Au-delà de la Lune grâce à la propulsion chimique

Ces prochains mois devraient constituer une étape clé pour le vaisseau Starship, conçu par la société américaine SpaceX en vue d'acheminer un jour des colons vers Mars. Le projet du milliardaire Elon Musk prévoit d'effectuer dans les semaines à venir le premier vol orbital d'un prototype de ce véhicule de transport réutilisable, qui devrait rallier en un temps record la base spatiale de Boca Chica au Texas à l'archipel de Hawaii. Starship est d'abord propulsé hors de l'atmosphère par le booster Super Heavy. Ce dernier a effectué un premier lancement en 2018, vol au cours duquel un cabriolet Tesla — autre société d'Elon Musk — a été mis sur une orbite croisant celle de Mars. L'imposant premier étage de Starship, d'une hauteur de 70 mètres, est doté de 29 nouveaux moteurs Raptor réutilisables, alimentés par un mélange d'oxygène et de méthane liquides. Le principe de la propulsion chimique utilisée depuis les débuts de la conquête spatiale repose en effet sur deux composants, le carburant et le comburant, qui permettent d'entraîner une réaction de combustion. *« Si le couple oxygène-méthane brûle moins efficacement que le mélange hydrogène-oxygène utilisé pour les fusées européennes, il a l'avantage d'utiliser des composants de même densité, plus importante que celle de l'hydrogène, ce qui simplifie le dimensionnement des réservoirs,* explique Kate Underhill, cheffe de projet au sein du programme préparatoire des futurs lanceurs à l'ESA. *L'objectif est d'obtenir avec le premier étage une poussée égale au poids du vaisseau Starship : soit sa masse combinée à l'attraction gravitationnelle terrestre (1200 t), ajoutée à celle du premier étage.* » SpaceX annonce ainsi une puissance de poussée de 7600 t pour l'étage Super Heavy. Sur la Lune et Mars, où la gravité est plus faible, il faudra une moindre poussée pour une même masse. Super Heavy n'entre donc en jeu que pour la première étape du voyage. Le Starship disposera, lui, de six à neuf moteurs pour naviguer dans le vide spatial, redémarrer de la Lune ou de Mars et effectuer son retour dans l'atmosphère. ■

Un véhicule de transport pour des missions interplanétaires

S. R. @srouat1

ciel, des cartes des corps célestes […] » La littérature, réceptacle de nos imaginaires, témoigne de cette libération de la pensée avec les premiers récits de voyages spatiaux : *L'Homme dans la Lune*, de Francis Godwin (1638), *Les États et empires de la Lune*, de Cyrano de Bergerac (1657)… L'essor des techniques a permis de réaliser ce rêve au cours du XXe siècle. Nous avons non seulement conquis la Lune, mais aussi exploré la plupart des corps du Système solaire grâce à des sondes. Et cette exploration permet d'assouvir notre curiosité à propos de nos origines, celle du Système solaire et celle de la vie. Jusqu'où irons-nous ? Je ne vois pas de limites. Même si visiter d'autres systèmes solaires semble irréaliste, ne bridons notre imagination en nous interdisant d'y penser. Ces voyages pourraient durer des siècles, ce qui pose des questions passionnantes : comment sélectionner les volontaires ? Quel système politique mettre en place à bord ? Comment créer un écosystème capable d'assurer une autonomie parfaite et maintenir l'enthousiasme d'explorer sur plusieurs générations ? Réfléchir à cela serait sans doute utile à la planète, dès aujourd'hui." ■

« Je ne vois pas de limites à l'exploration. Ne bridons pas notre imagination »

Propos recueillis par F. N.
@fnicot07

ONDES GRAVITATIONNELLES Oscillations de la trame de l'espace-temps qui compriment et étirent l'espace. Elles sont produites par des phénomènes extrêmement énergétiques comme la fusion de trous noirs ou, supposément, juste après le Big Bang.

FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE 380 000 ans après sa naissance, l'Univers s'est suffisamment refroidi pour que les noyaux atomiques et les électrons se combinent. La lumière n'était alors plus piégée par ces derniers et a pu se propager librement.

BOLOMÈTRE Détecteur de rayonnements qui convertit leur énergie en chaleur, mesurée elle-même par un thermomètre.

Le Big Bang sous l'œil d'un télescope inédit

Le télescope QUBIC, assemblé en France et qui vient d'être transféré en Argentine, va tenter de percevoir les traces de l'expansion de l'Univers juste après sa naissance.

Par Franck Daninos @f_Daninos

Dix milliardièmes de milliardième de milliardième de milliardième de seconde après le Big Bang… Soit l'Univers juste après sa naissance, bien avant la formation des galaxies, des premières étoiles et même de la matière telle qu'on l'observe aujourd'hui. Les débuts du temps autrement dit! C'est à cette époque extrêmement reculée, 13,8 milliards d'années en arrière, qu'une centaine de scientifiques français, italiens, irlandais, anglais et argentins estiment pouvoir bientôt accéder. Ils ont construit pour cela un télescope unique en son genre baptisé « QUBIC » (Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology). Assemblé entre 2018 et 2020 au laboratoire Astroparticules et cosmologie (APC) de l'université de Paris, il a été transféré en juillet à Salta, en Argentine. Le télescope y subit actuellement une série de vérifications et de tests. Puis au mois de novembre, si tout se passe comme prévu, il sera acheminé vers sa destination finale : San Antonio de los Cobres, en pleine cordillère des Andes à près de 5000 mètres d'altitude. *« Les observations du ciel débuteront en décembre ou janvier prochains,* trépigne Jean-Christophe Hamilton, cosmologiste au laboratoire APC et porte-parole de la collaboration. *Grâce à ce télescope, nous espérons détecter les traces de la fulgurante expansion qu'aurait connue l'Univers dans sa toute petite enfance. Avec sans doute, à la clé, des découvertes révolutionnaires pour la physique des particules et la cosmologie.* »

ALFRED PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY

La dilatation accélérée de l'Univers, juste près le Big Bang (vue d'artiste), a dû générer des ondes gravitationnelles.

Une hypothèse étayée par les observations

L'existence de cette dilatation initiale — appelé aussi « inflation » — n'est certes qu'une supposition théorique mais elle est soutenue par une majorité de chercheurs. *« Elle est étayée par de nombreuses observations et a été proposée il y a près de quarante ans pour résoudre deux types de problèmes »*, rappelle Vincent Vennin, physicien théoricien au laboratoire APC. Le premier concerne le contenu de l'Univers. Celui-ci apparaît identique dans toutes les directions, arborant à grande échelle les mêmes

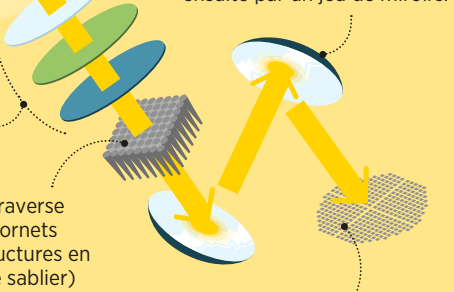
JC HAMILTON

« À la clé, sans doute des découvertes révolutionnaires pour la physique des particules et la cosmologie »

Jean-Christophe Hamilton, cosmologiste au laboratoire Astroparticules et cosmologie (APC) de l'université de Paris

Le télescope pèse 850 kilos et sa monture, 1,5 tonne. En forme de baril, il mesure 1,5 mètre de haut pour 1,4 mètre de diamètre.

UNE ANALYSE FINE DU FAISCEAU LUMINEUX



1 La lumière passe d'abord par des systèmes optiques (filtres et polariseurs).

2 Elle traverse des cornets (400 structures en forme de sablier) qui guident les rayonnements lumineux.

3 Les faisceaux qui en sortent sont combinés ensuite par un jeu de miroirs.

4 Ils sont captés par des bolomètres, détecteurs de lumière refroidis à une température proche du zéro absolu (0,3 kelvin).

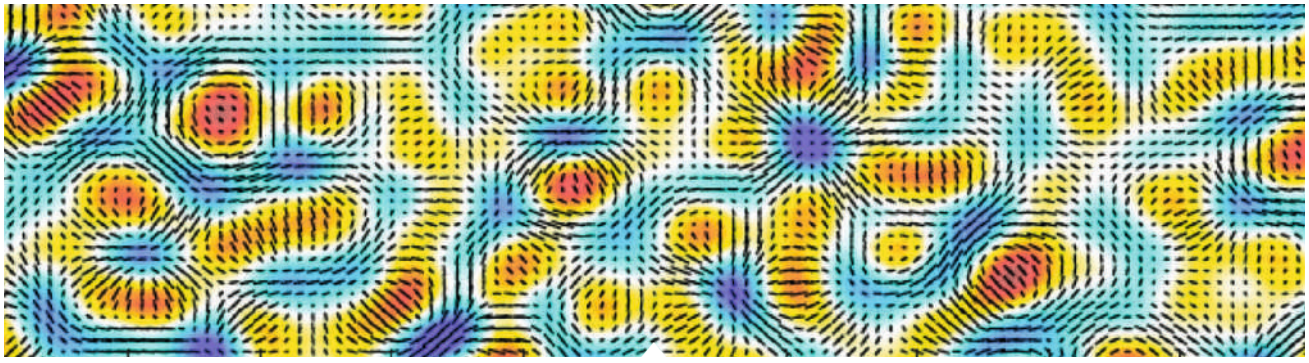
Les secrets du télescope QUBIC

Développé en France et testé actuellement dans le nord-ouest de l'Argentine, le télescope QUBIC est fondé sur un nouveau concept instrumental : l'interférométrie bolométrique. Il cherchera, à compter de 2022, à identifier les traces de la gigantesque expansion qu'aurait connue l'Univers une fraction de seconde après le Big Bang.

MEDHI BENYEZZAR

LUMIÈRE FOSSILE

L'empreinte du fond diffus cosmologique



M. KAMIONKOWSKI, E. KOVETZ

Les motifs en tourbillons ou ailes de moulin formés par les traits seraient la signature des ondes gravitationnelles produites après le Big Bang.

Les ondes gravitationnelles produites juste après le Big Bang auraient laissé une signature dans le fond diffus cosmologique, première lumière à s'être propagée dans le cosmos. Elles auraient modifié, en effet, l'orientation du champ électrique de cette lumière fossile, produisant un type de motifs (appelé « mode B de polarisation ») dans les cartes du fond diffus cosmologique. Selon les prédictions théoriques, ces motifs sont constitués de petits traits sombres et successifs évoquant des tourbillons ou des ailes de moulin.

densités de matière et d'énergie. Or certaines galaxies sont séparées par plus de 25 milliards d'années-lumière. *« Ces régions, vu l'âge de l'Univers et son taux d'expansion actuel, n'auraient ainsi jamais été en contact ; elles n'auraient pas eu le temps d'échanger de l'énergie et d'homogénéiser leurs caractéristiques »*, relève le chercheur. Comment expliquer, dès lors, une telle uniformité ? Second problème : la platitude du cosmos, aucune observation n'ayant jamais détecté la moindre courbure. Or selon les équations de la relativité générale, cette dernière ne peut que croître avec le temps, produisant des géométries ouvertes (en « selle de cheval ») ou fermées (de type sphérique). Le cosmologiste américain Alan Guth propose au début des années 1980 une solution. Il postule l'existence d'une phase d'expansion vertigineuse, juste après le Big Bang, qui aurait conservé la forme parfaitement plate de l'Univers primitif tout en homogénéisant celui-ci. Avant l'inflation, toutes ses régions étaient ainsi extrêmement proches les unes des autres, regroupées dans un petit volume où des interactions ont permis d'uniformiser leurs propriétés. Puis en une fraction de clin d'œil, *« l'espace aurait gonflé d'un facteur considérable : 10^{25} au minimum »*, indique Steve Torchinsky, radioastronome au laboratoire APC et membre de QUBIC. L'univers observable serait peut-être passé d'une taille de l'ordre de 10^{-30} m (pour mémoire un noyau d'hydrogène est beaucoup plus petit, 10^{-15} m !) à un centimètre vers 10^{-35} seconde après le Big Bang. L'expansion de l'Univers aurait retrouvé après coup un rythme plus tranquille, sa taille augmentant d'un facteur à peu près similaire dans les 13,8 milliards d'années qui suivront.

Le boson de Higgs aurait pu provoquer l'inflation

Nous ne disposons cependant que de vagues indications sur la durée et le moment précis de l'inflation. *« Seule certitude : elle se serait produite avant la formation des noyaux atomiques, soit quelques millionièmes de seconde après le Big Bang*, signale Vincent Vennin. *Probablement autour de 10^{-35} seconde, un peu plus ou un peu moins selon diverses spéculations. »* La théorie ne dit absolument rien, par ailleurs, sur l'agent qui aurait provoqué l'inflation. Il pourrait s'agir du fameux boson de Higgs, dont l'existence a été confirmée en 2012 au LHC, accélérateur du Cern, près de Genève (Suisse). Ou bien

VINCENT VENNIN

« C'est comme si nous avions un accélérateur 10 000 fois plus puissant que le LHC ! »

Vincent Vennin, physicien théoricien au laboratoire Astroparticules et cosmologie (APC) de l'université de Paris

d'une particule pour l'heure inconnue, nécessairement très énergétique et associée à une physique encore mystérieuse…

Une nouvelle génération d'instruments de détection

La théorie de l'inflation implique néanmoins une prédiction qui permettrait, non seulement de l'éprouver de manière solide mais de répondre aussi à ces interrogations fondamentales. La dilatation hyperaccélérée de l'Univers devrait générer en effet des ondes gravitationnelles *(voir lexique)*. Or ce frisson originel a dû laisser une marque dans la toute première lumière du cosmos — un flash que les physiciens appellent le fond diffus cosmologique, émis 380 000 ans après le Big Bang et qui baigne aujourd'hui encore tout l'espace.

De nombreuses expériences cherchent ainsi, depuis une trentaine d'années, à détecter cette empreinte *(lire l'encadré p. 36)*. *« Ses caractéristiques révéleraient à quel moment l'inflation s'est produite et nous renseigneraient sur le type de particules et de forces qui régissaient l'Univers dans sa prime jeunesse. C'est comme si nous pouvions les sonder avec un accélérateur dix mille milliards de fois plus puissant que le LHC »*, s'émerveille Vincent Vennin. Mais cette détection pose d'immenses défis. La lumière du fond diffus cosmologique est en effet extrêmement ténue, et l'empreinte laissée par ces ondes gravitationnelles primordiales un milliard de fois plus encore. Elle est masquée, par ailleurs, par d'autres rayonnements qui lui ressemblent comme deux gouttes d'eau : ceux émis par les poussières galactiques en particulier et qui, en 2014, avaient fait faussement croire à une équipe américaine qu'elle avait découvert le Graal *(lire l'encadré ci-dessus)*.

D'importants progrès ont été réalisés depuis. *« Et une nouvelle génération de télescopes — au sol, embarqués sur des ballons ou lancés dans l'espace — arrive à maturité »*, observe Jean-Christophe Hamilton. Si bien que ces ondes gravitationnelles ont *« d'excellentes chances d'être découvertes dans les toutes prochaines années »*, présume le chercheur. Dans cette course, QUBIC arrive certes quelque peu en retard. Et ne bénéficiera pas, du moins au début, de la même sensibilité que certains de ses concurrents, américains pour la plupart. Ce télescope de 2,7 t qui aura coûté 5 millions d'euros repose toutefois sur une approche inédite et originale qui pourrait faire la différence. Imaginée au début des années 2000, elle fusionne en un seul système deux types de techniques : l'interférométrie, qui capte et recompose des rayonnements et des bolomètres, détecteurs refroidis à une température proche du zéro absolu (-273,15 °C) mesurant la puissance de ces rayonnements. *« Le dispositif permettra d'analyser les signaux à différentes longueurs d'onde et distinguer plus facilement ce qui provient du Big Bang du brouhaha ambiant,* détaille Steve Torchinsky. *Et si nous ne sommes pas les premiers à détecter ces ondes gravitationnelles primordiales, nous espérons confirmer ou enrichir les résultats d'autres expériences »*. Des contributions elles aussi essentielles tant l'enjeu scientifique est important. ■

DÉTECTION

L'écueil des poussières galactiques

En 2014, les chercheurs américains exploitant le télescope BICEP2, installé au pôle Sud, annonçaient un résultat digne d'un prix Nobel. Ils auraient détecté le signal des ondes gravitationnelles primordiales, sorte d'*« écho du Big Bang »*, *« l'un des objectifs les plus importants en cosmologie »*, précisaient-ils alors. Mais l'annonce est démentie quelque mois plus tard. Les données enregistrées ne provenaient pas du fond des âges… mais des grains de poussières qui emplissent la Voie lactée ! Résidus d'anciennes étoiles, *« elles s'alignent sur le champ magnétique de la galaxie, forment des nuages allongés et émettent une lumière qui ressemble au signal engendré par les ondes gravitationnelles »*, explique Jean-Christophe Hamilton, porte-parole de l'expérience QUBIC. Et ce rayonnement « parasite » s'est révélé beaucoup plus important que prévu ! Rebaptisé BICEP3, le télescope austral a été depuis perfectionné et poursuit cette traque. *« L'équipe qui l'exploite reste la plus expérimentée en la matière : c'est notre concurrent le plus direct »*, confie Jean-Christophe Hamilton.

WIKIPEDIA CC

Le signal enregistré par le radiotélescope BICEP2 (à droite), situé au pôle Sud, s'est révélé provenir de résidus d'anciennes étoiles et non d'ondes gravitationnelles.

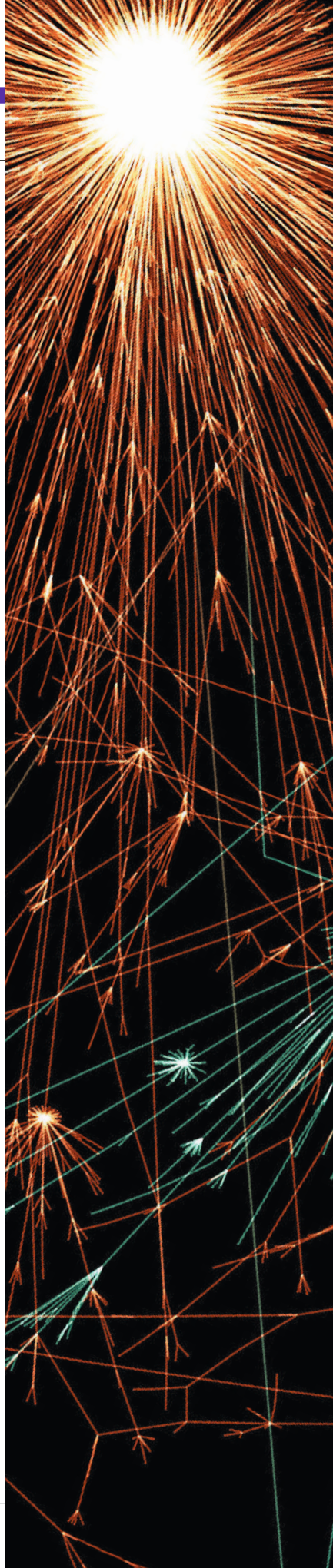
Comment combattre la désinformation

À l'heure des réseaux sociaux, la manière dont « fake news » et autres théories du complot circulent, se partagent, apparaissent ou disparaissent est devenue un vaste champ d'étude.

L'« information » est apparue sur Twitter le 30 avril 2020 : *« le port du masque augmente dangereusement le taux de dioxyde de carbone et peut provoquer une hypoxie »* (apport insuffisant en oxygène). C'est l'une de ces nombreuses fausses affirmations qui ont fleuri avec la crise sanitaire du Covid-19. Et qui, surtout, se sont diffusées à l'échelle planétaire. Parti du Mexique, ce tweet est repris par des internautes vénézuéliens le lendemain, puis par des Américains le 3 mai 2020. Le 4 mai, il circule en France, au Chili et au Brésil. Au Nigeria le 5 mai, l'« information » passe en Colombie et en Thaïlande deux jours plus tard. Et puis c'est l'Équateur, l'Espagne, l'Inde, l'Argentine, l'Italie, le Kenya… Le 8 juin, elle est encore postée sur Twitter en Grèce. Ce voyage à travers le monde est visible sur une « datavisulation » du Poynter Institute, un organisme américain de formation au journalisme *(voir page de droite)*. Elle est actuellement présentée à l'exposition « Fake news : art, fiction, mensonge », à l'espace Fondation EDF à Paris. Contrairement aux installations artistiques qui l'entourent, celle-ci relève plutôt d'un domaine de recherches particulier : étudier comment désinformations, affirmations erronées et autres théories du complot circulent. D'où elles partent, qui les partage, comment elles exploitent l'actualité ? Cette dynamique n'est pas nouvelle mais elle est désormais observable quasi en temps réel grâce aux réseaux sociaux (Twitter et Facebook en tête). Les données sont à portée de main (messages, mots clefs, profils, dates) et se comptent en millions. *« Du point de vue de la recherche, c'est une opportunité inédite,* estime David Chavalarias, directeur de recherche au CNRS. *Il est aujourd'hui possible de suivre la diffusion de contenus et l'évolution des groupes sociaux qui les relaient, observer des évolutions dans les positionnements*

54 000
comptes suspendus et archivés par Twitter pour avoir mené des opérations d'influence au profit de divers États (juillet 2020).

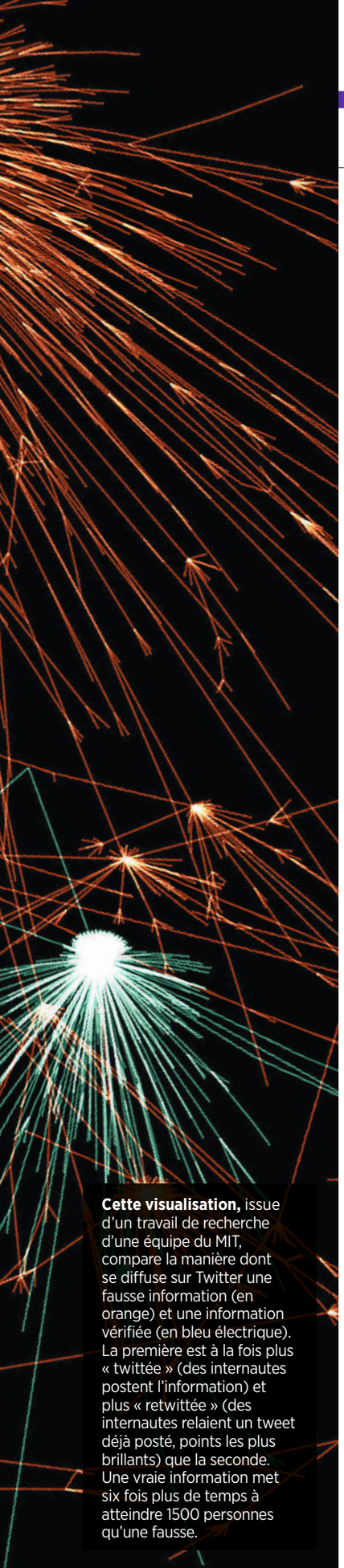
3151
comptes Twitter francophones et anglophones ont mené des opérations d'influence dans le mois précédant le deuxième tour de l'élection présidentielle de 2017 en France.



MÉTHODE

Vérifier une source en quelques mots clefs

Tout le monde ne peut pas deviner qui se trouve derrière un profil Twitter ou Facebook. Il est en revanche assez facile, avec quelques mots clefs dans un moteur de recherche, de vérifier une information et sa source. Une recherche sur le libellé d'un post permet de voir s'il n'a pas déjà été publié dans les mêmes termes par d'autres. Parfois au même moment, ce qui indique une opération coordonnée entre plusieurs comptes (ou des publications programmées) et trahit un exercice d'influence. L'historique d'un compte est également révélateur : que publie-t-il ? Quand a-t-il été créé ? Avec qui a-t-il des interactions ? Et d'ailleurs, est-ce qu'il en a ? Un faux compte se repère assez vite.



Cette visualisation, issue d'un travail de recherche d'une équipe du MIT, compare la manière dont se diffuse sur Twitter une fausse information (en orange) et une information vérifiée (en bleu électrique). La première est à la fois plus « twittée » (des internautes postent l'information) et plus « retwittée » (des internautes relaient un tweet déjà posté, points les plus brillants) que la seconde. Une vraie information met six fois plus de temps à atteindre 1500 personnes qu'une fausse.

PETER BESHAI

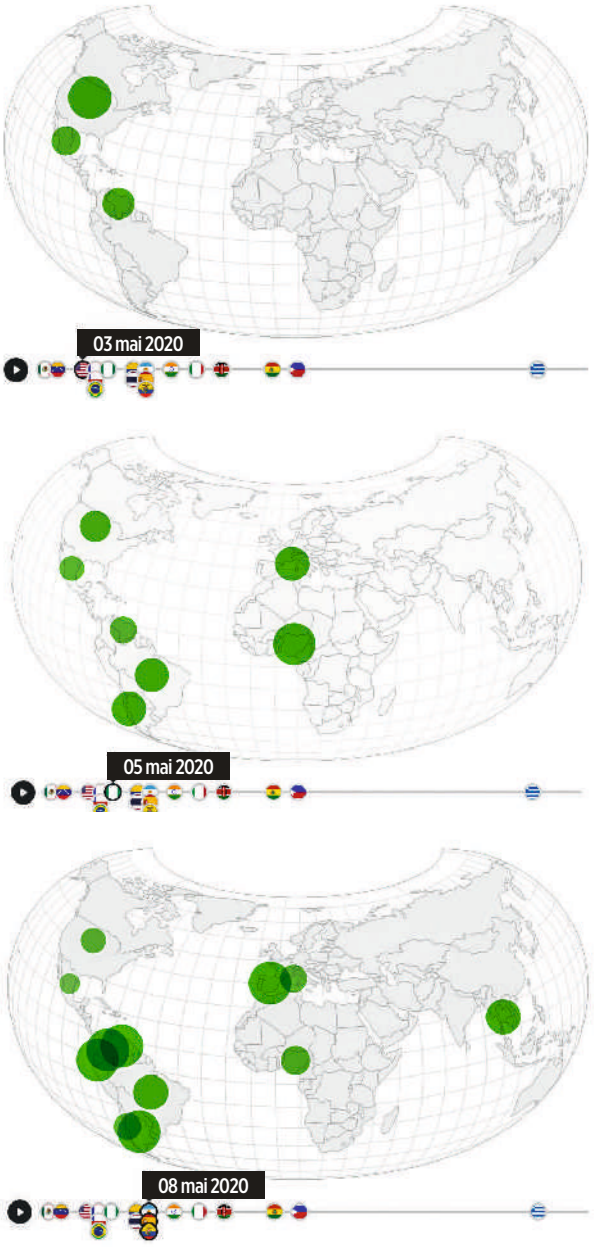
d'acteurs et analyser les stratégies de promotion de certains types de contenus. » Le chercheur est le responsable scientifique du Politoscope, un outil conçu pour de telles observations sur Twitter *(lire l'encadré p. 40)*.

Des algorithmes traitent les masses de données

Ce genre de recherche est rendu possible par l'informatique, l'analyse de langage et l'apprentissage automatique. *« Comme pour d'autres algorithmes, par exemple ceux des moteurs de recherche, l'ambition consiste à automatiser les tâches pour lesquelles les ordinateurs sont efficaces, à savoir traiter des masses de données, et laisser les humains faire ce pour quoi ils sont compétents, l'interprétation des résultats »*, explique Steven Smith, chercheur au Lincoln Laboratory du Massachusetts Institute of Technology (États-Unis). Ce spécialiste en intelligence artificielle est coauteur d'une étude sur la campagne pour l'élection présidentielle française de 2017. Près de 29 millions de tweets utilisant les mots clefs #Macron ou #LePen (les candidats du second tour) ont été exploités à l'aide d'algorithmes d'analyse de langage naturel. L'enjeu ? Dégager des « *narratives* », c'est-à-dire des ensembles de mots constituant un sujet thématique utilisé pour attaquer l'adversaire politique. L'équipe a ainsi pu suivre les allégations concernant une prétendue évasion fiscale d'Emmanuel Macron. Les chercheurs ont bâti un outil mathématique pour évaluer le poids d'un compte Twitter dans la propagation de cette fausse information et quelle aurait été l'ampleur de sa propagation si ce compte n'y avait pas participé. La plate-forme Twitter elle-même fournit des outils : depuis 2018, elle archive des comptes

Le tour du monde d'une fake news sur Twitter

« Le port du masque augmente dangereusement le taux de dioxyde de carbone et peut provoquer une hypoxie »



Cette cartographie dynamique, réalisée par le Poynter Institute (États-Unis), montre la progression de la circulation d'un tweet sur le Covid-19, depuis le continent américain jusqu'en Thaïlande en passant par l'Europe.

THE POYNTER INSTITUTE

dédiés à la manipulation, à la propagande et au mensonge (notamment au service d'un État). Les chercheurs du Lincoln Laboratory s'en sont servis comme base de données d'entraînement pour apprendre à un algorithme à dire si un compte Twitter peut être considéré comme un agent de désinformation.

La crise sanitaire, un terrain de travail idéal

L'enjeu de ce travail ne réside pas tant dans la campagne présidentielle française que dans l'approche adoptée. « *Nos méthodes sont indépendantes de ce cas particulier* », précise Steven Smith. Elles ont ainsi permis de montrer que des comptes Twitter actifs dans la désinformation lors de cette campagne l'ont été tout autant, trois ans plus tard, pour désinformer sur le Covid-19.

La crise sanitaire, justement, se révèle un terrain de travail idéal. Un groupe issu de la division Analyse de l'information et technologie du Laboratoire national de Los Alamos, aux États-Unis, a étudié, à partir de 1,8 million de tweets, quatre théories du complot circulant entre janvier et mai 2020 sur Twitter : les antennes 5G diffusent le virus, la fondation Bill et Melinda Gates a un rôle douteux, le virus a été créé en laboratoire et les vaccins sont dangereux.

Cette étude montre la nature changeante des théories en question. Par exemple, celle d'un virus fabriqué par l'humain cite, selon les moments, un laboratoire chinois, canadien, américain ou français (l'Institut Pasteur). Bill Gates est d'abord réputé avoir participé à une planification de la pandémie dès 2015. Ou aurait intrigué avec le Dr Antonio Fauci (chef de la cellule de crise sanitaire de la Maison-Blanche). Ou tenterait de contrôler les populations en leur injectant un vaccin contenant une micropuce. Or chaque variante apparaît corrélée à des faits d'actualité ou des déclarations de personnalités (la suggestion de Bill Gates d'enregistrer les vaccinations avec des certificats numériques a nourri la théorie du vaccin mouchard). La méthode met aussi en lumière des connexions avec d'autres récits complotistes, relatifs au virus Ebola ou au scandale Jeffrey Epstein.

À partir des mêmes pseudo-complots, une équipe de l'université de Californie à Los Angeles (États-Unis) s'est focalisée sur les forums de discussion de Reddit et 4chan. Elle a pu voir que plus ces théories se développaient sur ces réseaux, plus elles étaient mentionnées dans les médias traditionnels, et plus elles étaient mentionnées (contestées ou non), plus elles circulaient et plus leurs récits évoluaient au gré de l'actualité.

Ces approches permettent aussi de remonter aux sources de certaines manœuvres. Autant le Politoscope que les travaux du Lincoln Laboratory ont montré comment l'extrême droite internationale a essayé de déstabiliser Emmanuel Macron à coups de contre-vérités ou de tweets imitant ceux de partisans de François Fillon ou Jean-Luc Mélenchon. À l'heure où l'information n'a plus de frontière, la désinformation non plus. ■

Arnaud Devillard @A_Devila

GAUMONT; PANAHI; CHAVALARIAS 2017

« Il est aujourd'hui possible de suivre la diffusion des contenus et l'évolution des groupes sociaux qui les relaient »

David Chavalarias, directeur de recherche à l'Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (CNRS), responsable du projet Politoscope

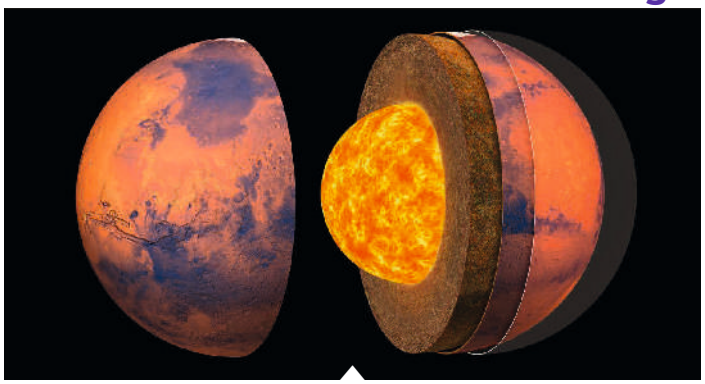
POUR EN SAVOIR PLUS

Rapport du Cnnum : Récits et contre-récits, itinéraires des fausses informations en ligne : sciav.fr/895Cnnum
Plongée dans la nébuleuse de la désinformation sur Twitter : sciav.fr/895desinformation

OUTILS

Le Politoscope trace les thèses complotistes

Créé en août 2016, en amont de la campagne pour l'élection présidentielle française, le Politoscope a été mis au point par l'Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (CNRS). Il suit quelque 6000 comptes Twitter de personnalités politiques et de la sphère médiatique. Ce dispositif a été décliné sur d'autres thématiques. « *En ce qui concerne le réchauffement climatique, plusieurs contre-théories ont été développées par les "climatosceptiques"*, note David Chavalarias, responsable du Politoscope. *Elles sont parfois avancées par les mêmes personnes alors qu'elles sont incompatibles entre elles. Il y a donc un certain opportunisme qui exploite la fragmentation des audiences et le peu de vérification des informations pour influencer l'opinion malgré un discours incohérent.* » Fin juin, Le Conseil national du numérique a publié un rapport sur les fausses informations en ligne. Le Politoscope a été utilisé pour cartographier les tweets et retweets concernant le film documentaire *Hold-up : retour sur un chaos* (novembre 2020), relayant des thèses complotistes concernant la crise sanitaire. Le résultat est sans appel : « *Les principales communautés à avoir initié la diffusion de ce documentaire,* écrit le chercheur, *sont des communautés traditionnellement complotistes : Les Patriotes et l'Union populaire républicaine.* » Les autres twittosphères politiques y ont peu contribué.



IPGP/ DAVID DUCROS

La croûte, composée de 3 couches, entoure le cœur de la planète (vue d'artiste).

Mars dévoile ses entrailles

Pour la première fois, la structure d'une autre planète que la Terre a été révélée par un sismomètre conçu par une équipe française.

« *Nous avons rempli les principaux objectifs de la mission* », s'est félicité Philippe Lognonné, géophysicien à l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) et responsable scientifique du sismomètre martien SEIS (Seismic Experiment for Interior Structures), lors d'une conférence de presse fin juillet. Déposé sur la planète Rouge en décembre 2018 par l'atterrisseur de la Nasa InSight, ce sismomètre révèle, pour la première fois, la structure d'une autre planète que la Terre. « *Nous avons analysé comment une dizaine d'ondes sismiques étaient modifiées ou réfléchies par ses interfaces internes, un peu comme une échographie* », explique Raphaël Garcia, professeur à l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (Isae-Supaero) de Toulouse.

La croûte martienne serait ainsi épaisse de 20 à 35 km et serait composée de deux voire trois couches superposées. Haute de 10 km, la plus superficielle présente des traces d'une altération, manifestement provoquée par une très ancienne circulation de fluides. Sous la croûte, les 500 premiers kilomètres du manteau forment une lithosphère (enveloppe solide) beaucoup plus épaisse que sur Terre (environ 100 km). Constituée d'un seul bloc, elle n'a sans doute jamais permis l'existence d'une tectonique des plaques.

Un noyau plus gros et moins dense que celui de la Terre

Mais la plus grosse surprise concerne le noyau de Mars : il mesurerait 1830 km de rayon, soit 53 % du rayon total de la planète (3389,5 km, contre 6371 km pour la Terre). « *C'est beaucoup plus gros et moins dense que ce qu'on attendait, il est probablement constitué — outre le fer et le nickel qui composent aussi le noyau terrestre — de quantités importantes d'éléments légers comme du soufre, du carbone, de l'oxygène ou de l'hydrogène* », signale Raphaël Garcia. Des caractéristiques qui permettront de mieux comprendre comment notre voisine s'est formée il y a 4,5 milliards d'années et aurait perdu, dès sa prime jeunesse, son champ magnétique protecteur. ■

Franck Daninos @fdaninos

CAMILLE CIER / HANS LUCAS

Maths

PAR SYLVIE BENZONI *

Droit et mathématiques

Le « sophisme du procureur » est une forme de raisonnement probabiliste erroné bien connu en mathématiques menant à des erreurs judiciaires. Il consiste à mal estimer des probabilités conditionnelles, notion remontant à Thomas Bayes au XVIIIe siècle. Les exemples les plus emblématiques au tournant du XXIe siècle sont les affaires Sally Clark, avocate britannique condamnée à tort pour avoir tué ses deux bébés, et Lucia de Berk, infirmière elle aussi condamnée — à tort — pour le meurtre de patients. Au XIXe siècle déjà, les mathématiques avaient été convoquées de manière erronée par Alphonse Bertillon dans l'affaire Dreyfus. Il fallut le plus grand mathématicien français du moment, Henri Poincaré, pour convaincre les magistrats des erreurs de calcul des probabilités somme toute élémentaires commises par le criminologue.

> « La notion de preuve en matière de justice revient régulièrement à décider si une coïncidence relève ou non du hasard »

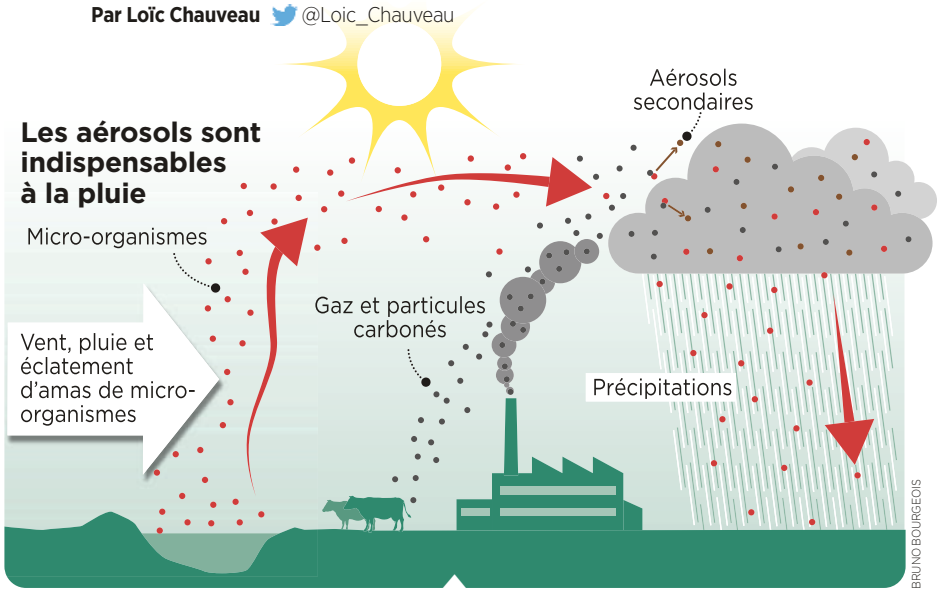
La notion de preuve en matière de justice revient régulièrement à décider si une coïncidence relève ou non du hasard. Grand promoteur de l'application des probabilités à la vie sociale, Émile Borel insistait ainsi en 1914 dans son livre *Le Hasard* sur le fait qu'un événement dont la probabilité est très petite doit être considéré comme impossible lors d'une prise de décision. Encore faut-il estimer correctement cette probabilité, si l'on veut éviter le erreurs. Les experts judiciaires devraient bien sûr être aptes à le faire. Cependant les juristes eux-mêmes devraient maîtriser les raisonnements probabilistes pour être en mesure de prendre les bonnes décisions. Selon le Portail universitaire du droit, les études juridiques requièrent rigueur et méthode. Aux lycéennes et lycéens souhaitant s'y engager, est indiquée l'importance du goût pour le raisonnement. Pourtant, les mathématiques ne figurent pas dans les spécialités recommandées au lycée pour s'engager dans cette filière. La formation des juristes aux raisonnements probabilistes reste donc hypothétique. ■

* Directrice de l'institut Henri-Poincaré, à Paris.

Dans l'intimité des nuages

Au sommet du puy de Dôme en Auvergne, un laboratoire unique au monde étudie la composition des nuages : teneur en eau, taille des gouttes, présence de cristaux de glace. Bactéries et champignons y prolifèrent aussi !

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau



Les micro-organismes du sol passent dans l'atmosphère sous l'action du vent, de la pluie. Ils forment des aérosols dans les nuages, parfois liés à des gaz et particules émis par l'activité humaine, avant de retomber au sol avec les précipitations.

Lorsque l'on sort du funiculaire qui mène au sommet du puy de Dôme, la vue sur les volcans endormis de la chaîne des Puys est à couper le souffle. À condition de ne pas être dans les nuages ! Mais si ceux-ci, fréquents, frustrent les randonneurs, ils font la joie des chercheurs. Car c'est ici que se trouve le seul dispositif au monde où ils les collectent en temps réel pour étudier leur composition. Un véritable « aspirateur à nuages » installé à côté de l'immense station hertzienne de télévision, des radars de l'armée et… des vestiges du temple de Mercure du IIe siècle !

Laurent Deguillaume, du Laboratoire de météorologie physique (LaMP) de Clermont-Ferrand, nous fait visiter son univers. D'abord, on ne voit que le chalet de l'observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand (qui fête cette année ses 150 ans de travaux en météorologie et géologie). La construction est plutôt discrète sauf qu'elle est bardée d'une forêt de capteurs, d'anémomètres, de collecteurs d'air, d'eau, de poussières en suspension. À l'intérieur, une série de laboratoires et la base de vie des scientifiques, qui viennent y passer quelques semaines par an. Sur la façade ouest, une entrée d'air alimente un étroit couloir en plastique transparent : une « veine de mesures » où les nuages sont aspirés par un ventilateur centrifuge jusqu'à des vitesses de 430 kilomètres par heure. Les gouttelettes et cristaux de glace des nuages sont ensuite étudiés grâce à des sondes. *« À 1465 m d'altitude, au sommet de la première montagne atteinte par les embruns de l'Atlantique, nous sommes placés à l'endroit*

BERTRAND RIEGER/HEMIS.FR

MESURES

Un haut lieu scientifique pour aspirer les goutelettes

L'observatoire au sommet de puy de Dôme est unique au monde. Classé comme station scientifique de référence par l'Organisation mondiale de météorologie, il est le seul à permettre aux chercheurs l'acquisition en direct de nombreuses données des appareils équipant cette station de mesures. Quatre autres lieux étudient les nuages dans le monde : le mont Schmüke en Allemagne, le mont Cimone en Italie, le mont Taï en Chine et le mont Whiteface aux États-Unis. Toutefois, ils ne produisent des mesures sur les nuages que lorsque les équipes scientifiques ont rejoint le sommet, seulement quelques jours par an.

Situé à 1465 m d'altitude, au sommet du puy du Dôme, l'observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand est l'un des quatre observatoires au monde d'étude des nuages.

idéal pour comprendre ce qu'il y a dans les nuages », souffle le physicien. À 450 kilomètres de la mer, les masses humides rencontrent pour la première fois un relief d'importance si bien que le sommet du puy de Dôme est en moyenne 40 % du temps dans les nuages. Quand ceux-ci viennent de l'ouest, ils sont peu pollués par l'activité humaine au contraire de ceux portés par les vents du nord qui ont traversé des régions industrielles et de grandes agglomérations.

Mais comment les aspirer pour les étudier ? L'affaire n'est pas simple car les nuages sont principalement constitués d'air, et si on peut les contempler dans le ciel, c'est parce que la lumière du soleil se reflète sur les particules d'eau. *« Les nuages comptent le plus souvent moins de 0,5 gramme d'eau par mètre cube d'air, si bien que notre machine en récupère au mieux quelques centaines de millilitres par heure. On dénombre également dans l'atmosphère de nombreux aérosols dont les concentrations varient de quelques centaines à des dizaines de milliers par centimètre cube d'air* », détaille Laurent Deguillaume. Sans ces particules d'origine naturelle (poussières du désert, sel) ou humaines (résidus de combustion), il n'y aurait pas de nuages *(voir l'infographie p. 42)*. *« La vapeur d'eau dans l'atmosphère ne peut pas condenser naturellement pour former des gouttelettes ou des cristaux de glace, il lui faut un support, un noyau de condensation fourni par les aérosols* », explique Anne-Marie Delort, directrice de l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand. L'un des plus efficaces est le sel de mer, propulsé dans l'atmosphère par les vents depuis la surface de l'eau. Ce qui explique pourquoi c'est au-dessus des océans que l'on trouve le plus de nuages. D'autres particules ne permettent pas la formation de gouttes, comme les suies.

B. RIEGER/HEMIS.FR

Les capteurs installés sur le toit de l'observatoire permettent aux chercheurs d'obtenir des mesures microphysiques, comme le nombre et la taille des gouttes d'eau.

POUR EN SAVOIR PLUS

- Les temps forts de l'observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand depuis sa création en 1871 à aujourd'hui : **sciav.fr/895OPGC**

Des structures éphémères qui durent quelques heures

C'est pour mieux connaître leur composition exacte que, depuis une vingtaine d'années, l'observatoire cherche à mesurer les propriétés microphysiques des nuages : la teneur en eau, la taille des gouttes, la présence ou non de cristaux de glace, mais aussi leur forme. Ainsi, ces structures éphémères qui ne durent que quelques heures et dans 70 % des cas s'évaporent sans faire de pluie, passent à la postérité dans une base de données, véritable mémoire de la variété des compositions de formations nuageuses.

Les scientifiques cherchent également à caractériser la composition de ces millions de gouttelettes en suspension dans l'atmosphère. Et à déterminer le rôle de chaque composant du nuage. *« C'est un univers extrême où le fort rayonnement solaire et la présence d'oxydants puissants provoquent des changements entre phases gazeuse, solide, liquide très rapides* », expose Anne-Marie Delort. Ainsi, dans les gouttelettes de nuage, des molécules de méthanol peuvent former du formaldéhyde, molécules toxiques, puis de l'acide formique et enfin en bout de processus du dioxyde de carbone (CO_2).

Jusqu'au début du XXIe siècle, per-

MODÉLISATIONS

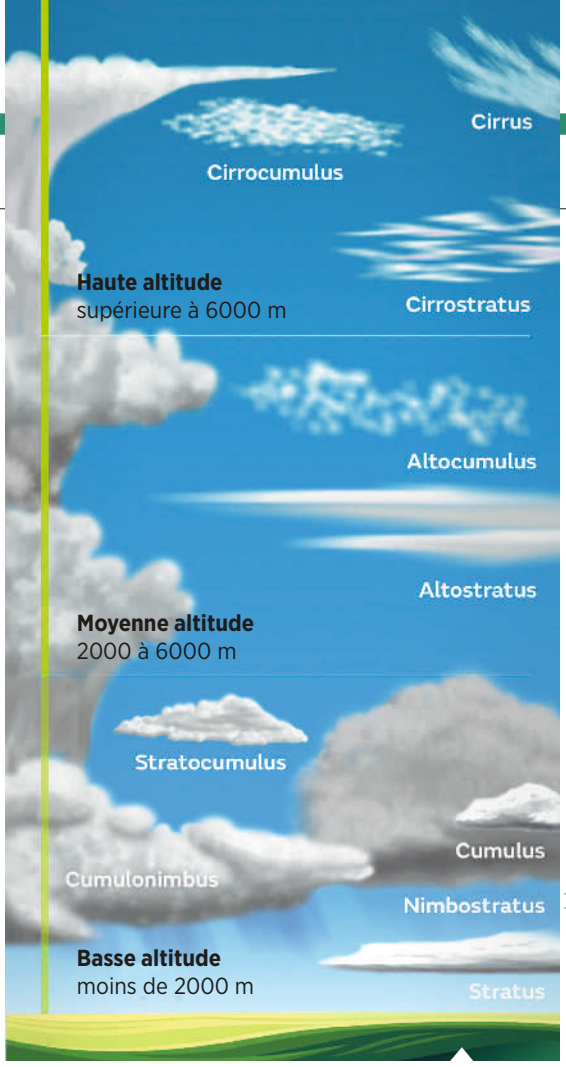
Quel rôle sur l'évolution du climat ?

Remis le 9 août, le sixième rapport du Giec (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) constate que les nuages restent toujours une énigme pour les modélisateurs du climat. Ceux-ci sont d'une taille trop petite pour pouvoir être pris en compte dans des « cases » de 150 km de côté qui quadrillent l'atmosphère pour nourrir les modèles. Et pourtant, ils couvrent en moyenne 60 % de la surface terrestre alors qu'ils ne représentent que 7 % du volume de la troposphère. En outre, la plus grande partie des nuages et les plus permanents sont ceux des régions intertropicales que l'on ne sait pas encore prendre en compte dans les modèles. Leur rôle de refroidissement ou de réchauffement reste donc discuté. Le sixième rapport d'évaluation tranche cependant en faveur d'un rôle de refroidissement. Selon les derniers travaux de modélisation du Centre national de recherche météorologique qui incluent les mesures des températures réelles enregistrées depuis 1850 et sont donc plus précis, la hausse de la température de la planète a été de 1,22 °C entre 1850 et 2020. Elle aurait été de 1,54 °C sans l'effet refroidissant des aérosols et nuages.

sonne ne s'attendait à ce que les réactions au sein des nuages soient aussi complexes. L'alerte est venue avec les pluies acides polluées par les oxydes de soufre qui ont tué des forêts entières dans les années 1970. Depuis le début des années 2000, l'aspirateur à nuages du puy de Dôme a permis d'établir une impressionnante liste de constituants d'un nuage. On distingue des ions inorganiques (chlore, sodium, nitrate, sulfate, potassium, ammonium), des espèces organiques (acides carboxyliques, aldéhydes, hydrocarbures polycycliques, acides aminés), des métaux (fer, cuivre, manganèse) et des espèces oxydantes comme l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène. Au total, entre 7000 et 8000 substances différentes ont été répertoriées. Les chercheurs s'intéressent particulièrement à la matière organique que l'on retrouve en quantité croissante du fait de son utilisation par les activités humaines dans les carburants, les solvants, les pesticides. La fraction organique soluble des aérosols constitue en effet un noyau de condensation favorisant la formation d'une gouttelette.

Mais le plus surprenant a été révélé en 2013 dans un article publié dans la revue *PNAS* par le Laboratoire de météorologie physique et l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand qui fait sensation : les nuages sont pleins de bactéries, champignons, levures et abritent donc une vie intense ! Ces micro-organismes ont été emportés par d'autres substances gazeuses et solides rejetées par exemple par les végétaux ou par l'activité humaine (comme les suies et les gaz issus de la combustion des énergies fossiles). Soulevés par le vent et propulsés à cette hauteur, ils sont capables de résister au froid, au rayonnement solaire, à l'humidité. Les densités microbiennes peuvent atteindre 100 000 cellules par millilitre d'eau. Depuis une dizaine d'années, les chercheurs de l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand en ont isolé et identifié plus de 1000 souches. Une collection sans équivalent dans le monde. *« Notre découverte majeure a été de démontrer que la majorité de ces micro-organismes sont viables et métaboliquement actifs*, poursuit Anne-Marie Delort. *Nous avons ainsi détecté un taux d'adénosine triphosphate (ATP) qui trahit une activité métabolique, ce qui veut dire que dans les nuages, ces microbes dégradent la matière organique grâce à leurs enzymes et participent à la chimie atmosphérique.* »

Les laboratoires de Clermont-Ferrand ont recherché l'action de ces bactéries sur les principaux composés présents dans les nuages, le formaldéhyde, le méthanol, les acides carboxyliques. Conclusion : leur action est similaire à celle des particules de matière organique sous l'influence du rayonnement solaire et aboutit au final à la même production de CO_2.



SOURCE : ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE INTERNATIONALE

La forme des nuages dépend de leur altitude et non de leur composition. Mais certains se retrouvent à différentes hauteurs : c'est le cas du cumulus, du cumulonimbus ou encore du nimbostratus.

Une bactérie aide à déclencher la pluie

« Nous avons même retrouvé des organismes qui n'avaient pas encore été décrits par la littérature ! », s'étonnent Laurent Deguillaume et Anne-Marie Delort. Pour les connues, ce sont les bactéries des genres *Pseudomonas, Shingomonas, Steptomyces, Rhodococcus* et *Bacillus* qui sont les plus fréquentes. *Pseudomonas syringae* produit même une protéine à la surface de sa membrane qui accélère la formation de cristaux de glace et peut déclencher de ce fait la pluie. Mieux, elle est capable de produire des cristaux de glace à une température de -5 °C, soit bien en dessous de ce que réclament les processus naturels. Les bactéries feraient donc pleuvoir ? Les chercheurs le constatent. Au regard de l'univers inconnu auxquels ils font face, ils savent qu'ils ne sont pas au bout de leurs surprises. ■

A.-M. DELORT

« Nous avons démontré que la majorité des micro-organismes des nuages sont viables et métaboliquement actifs »

Anne-Marie Delort, directrice de l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme)

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

LE MENSUEL

LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs chaque jeudi de 17H30 à 19H sur https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !

plus de 160 000 followers

163 000 instagrammeurs

Plus de 7 000 abonnés professionnels

plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCA

LÉZARD VIVIPARE

Zootoca vivipara

- Long.: 18 cm (queue comprise)
- Robe brune, rehaussée de taches ou lignes jaunes, blanches et noires

LÉZARD OCELLÉ

Timon lepidus

- Long.: 60 cm (queue comprise)
- Robe verte à points jaunes

C'est dans le sud-ouest de la France que l'influence du changement climatique risque de perturber la vie des trois lézards.

LÉZARD DE BONNAL

Iberolacerta bonnali

- Aussi appelé lézard des Pyrénées
- Long.: 20 cm (queue comprise)

Trois lézards à l'épreuve du changement climatique

Le programme des « sentinelles du climat », unique en Europe, étudie l'évolution du cadre de vie d'une vingtaine d'espèces. Reportage en Nouvelle-Aquitaine.

Dix-sept kilomètres tous les dix ans. C'est l'avancée vers le nord des espèces animales observée par diverses études internationales dans les zones tempérées comme la France. D'un point de vue global, le constat peut s'énoncer ainsi : la planète se réchauffe, les animaux migrent vers les pôles. Mais comment préciser ce tableau ? En Nouvelle-Aquitaine, un programme unique en Europe se penche depuis 2014 sur l'évolution du cadre de vie d'une vingtaine d'espèces animales et végétales. Son nom : *« les sentinelles du climat »*. Il est piloté par l'association Cistude Nature, dont le but est de comprendre comment les espèces ressentent le changement climatique et si elles peuvent s'y adapter. C'est que, au-delà du constat global, chacune d'entre elles fait face à un problème unique. Un papillon comme l'azuré des mouillères est menacé par la floraison de plus en plus précoce de la gentiane pneumonanthe dont il dépend. Le raccourcissement de la période d'hibernation pourrait perturber la reproduction des marmottes. Seule la patiente approche du naturaliste de terrain permet de comprendre ces interactions. Parmi les *« sentinelles »* figurent ainsi trois espèces de lézards dont on pourrait penser — à tort — que la hausse des températures leur sera favorable. Alors que leur milieu humide est menacé par des sécheresses de plus en plus longues et fréquentes. ■

Loïc Chauveau @Loïc_Chauveau

CONTEXTE

Le rapport commun de la Plate-forme intergouvernementale sur la biodiversité (Ipbes) et du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) publié le 10 juin souligne les liens étroits entre une température mondiale en hausse et les changements qui affectent la faune et la flore. Ce sera aussi un thème central du congrès mondial de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) du 2 au 11 septembre à Marseille.

PHOTOS: MATTHIEU BERRONEAU, LES SENTINELLES DU CLIMAT

Le lézard ocellé craint l'élévation des températures

Le plus grand lézard d'Europe est un grand timide. Difficile de le rencontrer malgré ses 60 centimètres de long et sa robe verte à points jaunes. En compagnie de Maud Berroneau, herpétologue de l'association Cistude Nature, nous arpentons le « truc vert », nom local d'une vaste dune plantée d'oyats, d'armoise maritime et d'immortelles des sables, à quelques encablures du cap Ferret. *« Ils adorent les anfractuosités, les fissures et occupent aussi les terriers des lapins avec lesquels ils vivent en bonne intelligence »*, explique-t-elle. Mais ce jour-là nous ne verrons que des traces et des crottes où se trouvent des résidus de carapaces trahissant un goût prononcé pour les petits coléoptères des milieux sableux. Présent en Espagne et sur le pourtour méditerranéen, en zone atlantique *Timon lepidus* ne peuple que les dunes du littoral aquitain. Combien sont-ils ? Impossible de le savoir. *« Les dunes sont trop vastes et ils sont trop craintifs pour qu'on puisse estimer la population aussi je ne vérifie leur présence que sur 80 lieux d'observation »*, poursuit l'herpétologue.

Le lézard ocellé est une sentinelle à double titre. Classée « en danger » dans la région Nouvelle-Aquitaine et « vulnérable » en France selon l'UICN, l'espèce est bien menacée par le réchauffement en dépit de son lieu de vie. Car si les espèces ectothermes (dépendantes de la température extérieure) ont besoin de chaleur pour pouvoir vivre, se nourrir, se reproduire, des températures trop élevées inhibent leur activité. *« Les jours de grande chaleur, on ne les voit que tôt le matin ou tard le soir »*, pré-

Le lézard vivipare est trop sédentaire pour migrer

Avant qu'on n'y plante des pins à tour de bras, la Gironde et les Landes étaient couvertes de lagunes, des étendues d'eau douce pauvres en nutriments, formées il y a plus de 10 000 ans. À un quart d'heure de Bordeaux, la lagune du Pian figure ainsi parmi les quelques dizaines de zones humides restantes. C'est là que s'épanouit le lézard vivipare, une espèce qui préfère la fraîcheur à la chaleur. *« Le fait de produire des petits viables plutôt que de pondre est généralement considéré comme une adaptation aux climats froids »*, explique Andréaz Dupoué, chercheur à la Station d'écologie théorique et expérimentale (Sete, CNRS et université Paul-Sabatier de Toulouse). Ici, *Zootoca vivipara* est en limite sud d'une aire de répartition qui s'étend jusqu'en Scandinavie. Si l'espèce n'est pas en danger, elle est localement menacée par le réchauffement climatique. Un collectif de chercheurs de la Sete a ainsi mené une étude comparative du génome de différentes populations par des prélèvements de salive.

« Produire des petits viables plutôt que de pondre est considéré comme une adaption aux climats froids » **Andréaz Dupoué,** chercheur au CNRS de Moulis

« Les jours de grande chaleur, on ne les voit que tôt le matin ou tard le soir »

Maud Berroneau, herpétologue, chargée de projets à Cistude Nature

cise Maud Berroneau. L'autre menace est bien plus grave : c'est la montée du niveau des mers. Les dunes côtières de Nouvelle-Aquitaine vont reculer de 20 mètres d'ici à 2025 et de 50 mètres supplémentaires en 2050 selon les travaux du Bureau de recherche géologique et minière (BRGM). Soit l'équivalent de 991 terrains de football mangés par l'Atlantique. Autant d'espace perdu pour un lézard qui devra peut-être se réfugier au sein de la forêt landaise. D'ailleurs sa présence a déjà été détectée et il semble bien s'y adapter. Un faible espoir pour une espèce qui pourrait disparaître au cours du siècle. ■

MATTHIEU BERRONEAU/NATURIMAGES

salive. « *Non seulement les lézards vivipares sont bien moins abondants dans le massif landais, mais ils ont de plus un patrimoine génétique nettement différent de celui des autres populations et un plus fort taux de consanguinité. La conclusion est simple : il y a un risque imminent d'extinction locale* », affirme Andréaz Dupoué. La consanguinité est vraisemblablement la conséquence directe du morcellement des milieux lagunaires. Mais le changement climatique aggrave la situation. Les naturalistes de Cistude Nature notent que les précipitations sont de moins en moins abondantes tandis que les températures deviennent estivales dès le printemps. Résultat : les lagunes s'assèchent plus vite et la fraîcheur nécessaire au lézard vivipare disparaît. Trop sédentaire pour pouvoir migrer, il devrait disparaître des Landes à brève échéance. ■

MATTHIEU BERRONEAU/NATURIMAGES

Une nouvelle concurrence pour le lézard de Bonnal

Le lézard de Bonnal ne vit que dans quelques éboulis rocheux de la chaîne des Pyrénées entre 1500 et 3000 m d'altitude. Étrange quand on est un ectotherme. « *Ce petit reptile tout gris n'entre en activité qu'en juin à la fonte des neiges, se dépêche de se reproduire pour entrer de nouveau en léthargie en octobre quand les températures deviennent très basses* », résume Matthieu Berroneau, herpétologue chargé de projet à Cistude Nature. *Iberolacerta bonnali* a un mode de vie très particulier. Dès la fin juin, les femelles pondent de 3 à 4 œufs (contre plus d'une dizaine chez les autres lézards) qui éclosent au bout de 4 à 5 semaines. Les petits sont déjà bien développés. « *L'espèce compense ainsi le faible nombre d'œufs par le fait qu'à l'éclosion les petits sont bien plus solides et ont une espérance de vie plus importante* », poursuit Matthieu Berroneau. Bien adaptés à leur milieu, ces reptiles bénéficient d'une quasi-absence de prédateurs. Las ! leur tranquillité est en danger du fait de l'élévation des températures. Depuis le début de l'ère industrielle, la hausse de la température moyenne annuelle en Nouvelle-Aquitaine a déjà atteint les 1,5 °C. Sur les pentes montagneuses, cela se traduit par une diminution de la couverture neigeuse et des températures plus élevées l'été. En période de canicule, il peut faire +25 °C au-dessus de 2000 mètres. Résultat : « *Les conditions de vie commencent à être favorables au lézard des murailles Podarcis muralis, que l'on rencontre dans tous les jardins* », assure Matthieu Berroneau. Depuis 2016, les herpétologues procèdent à des recensements de lézards le long des chemins de randonnée trois fois au cours de l'été. « *La première année, les lézards communs étaient très rares au-delà de 1800 m, on en retrouve à 2000 m désormais* », dévoile l'herpétologue. Leurs calculs montrent que le lézard des murailles a gagné 80 mètres en altitude depuis 2018. Comment va se passer cette cohabitation toute nouvelle ? Les naturalistes craignent qu'entre le très compétitif lézard des murailles capable de coloniser tous les milieux et le plus fragile lézard de Bonnal qui voit son milieu naturel envahi, l'histoire ne soit déjà écrite avec une extinction probable dans les décennies à venir. ■

« Ce petit reptile tout gris n'entre en activité qu'en juin à la fonte des neiges »

Matthieu Berroneau, herpétologue à Cistude Nature

MATTHIEU BERRONEAU/NATURIMAGES

SATURNINO PÉREZ GARRIDO / AGE FOTOSTOCK

Des centaines de mutations ont permis de passer du chou vert au romanesco à la forme caractéristique.

Comment se forment les motifs du chou romanesco

En étudiant le chou-fleur commun, des chercheurs français ont enfin compris l'origine de la répétition du même motif régulier sur la variété italienne.

Le mystère des formes fractales du chou romanesco est résolu ! Des chercheurs français ont découvert ce qui, au cours de sa croissance, lui permettait de revêtir cet aspect si particulier, caractérisé par une répétition d'un même motif à des échelles d'observation de plus en plus fines. Et c'est le chou-fleur commun qui leur a donné la clé de cette découverte publiée dans la revue *Science*. En effet, les deux variétés de choux sont formées par des bourgeons destinés à devenir des fleurs mais qui, sous l'influence de gènes de régulation spécifiques, se transforment en tiges. Lesquelles produisent elles-mêmes de nouvelles tiges en cascade. C'est ce qui donne au chou-fleur sa forme de grosse boule blanche.

Mais que se passe-t-il alors chez le chou romanesco pour qu'il offre ces motifs si réguliers ? Pour comprendre, il faut revenir au mécanisme de départ de la croissance d'une plante qui réside au niveau du méristème, un tissu de cellules végétales embryonnaires situé à l'extrémité de chaque tige. Un méristème n'est pas spécialisé dans la croissance d'une partie de la plante et produit ainsi des cellules qui vont se différencier et se renouveler en permanence pour former indifféremment de nouvelles tiges, des fleurs ou des feuilles. Pour le chou-fleur ou le chou-romanesco, le méristème fournit donc des tiges en cascade. Mais pour saisir ce qui les différencie, les chercheurs du CNRS et de l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria) ont combiné une technique de modélisation de la croissance avec l'outil d'édition génétique CRISPR-Cas9 qui leur a permis de tester différentes mutations de gènes sur une plante modèle, l'Arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*), de la même famille botanique, les brassicacées, que les choux. Jusqu'à trouver la bonne !

Une production de tiges à un rythme qui s'accélère

Les chercheurs ont ainsi établi que tout est une question de « *timing* » : alors que le rythme de production des tiges est relativement constant chez le chou-fleur, il s'accélère au cours de la croissance du chou romanesco. En effet, la mutation testée sur *Arabidopsis thaliana* élargit la taille des méristèmes et conduit à l'augmentation du rythme de production des organes. *« C'est donc la vitesse de production des tiges qui augmente chez le chou romanesco et reste constante chez le chou-fleur* », explique François Parcy, chercheur au CNRS et coauteur de l'étude. *« Il a sans doute fallu des siècles et des dizaines, voire des centaines de mutations pour passer d'un chou vert possédant une inflorescence normale (tige fleurie) à un chou-fleur puis à un chou romanesco* », conclut-il. ■ **Théo Tzélépoglou**

Les cigognes ont du nez

Des chercheurs allemands ont montré que le volatile est sensible aux odeurs, comme le pigeon, le vautour ou certains oiseaux marins.

Malgré leur appendice de Cyrano, les cigognes n'étaient pas vraiment connues pour leur « nez », à l'instar des autres oiseaux généralement considérés comme peu sensibles aux odeurs. Et pourtant, le parfum de l'herbe fraîchement coupée peut suffire à ces échassiers pour repérer une zone où insectes et petits rongeurs viennent d'être mis à découvert. Même sans repères visuels ou sonores, comme la présence de congénères ou le bruit des engins agricoles, les cigognes peuvent ainsi flairer dans le vent un champ en train d'être fauché à plusieurs kilomètres de distance, venir s'y poser… et « passer à table ».
C'est ce que montrent des expériences et observations conduites par des chercheurs allemands près du lac de Constance, à la frontière germano-suisse, et publiées dans *Scientific Reports*. Si les cigognes tiennent souvent compagnie aux tracteurs dans les champs de la région, ce n'est donc pas seulement en raison du bruit que font les machines. Pour s'en convaincre, les experts ont observé un groupe de 70 cigognes durant un printemps et un été, avec un petit avion permettant d'avoir une vue d'ensemble d'une zone de 6 km de rayon (emplacement des fermes, des champs, des cigognes, etc.) Ils ont pu constater qu'il suffit de répandre les substances olfactives émises par l'herbe coupée au-dessus de prés qui n'ont pas été fauchés pour y attirer les oiseaux situés sous le vent.

JUNIORS / S.E. ARNDT / BIOSPHOTO

Les échassiers repèrent grâce à l'odeur de végétation fraîchement coupée les zones où les petits rongeurs, leurs proies, ont été mis à découvert.

L'odorat des oiseaux a été sous-estimé

Une preuve de plus que l'importance de l'odorat chez les oiseaux a probablement été sous-estimée au profit de la vue, de l'orientation magnétique ou de l'audition. Elle s'ajoute en effet à d'autres cas isolés jusqu'à présent : les pigeons utilisant les odeurs pour se repérer durant leur migration ; les vautours qui décèlent de loin la puanteur de cadavres en décomposition ; ou certains oiseaux marins sensibles aux substances libérées par les panaches de plancton appréciés des poissons. ■

Pierre Kaldy

Climat

PAR CHRISTOPHE CASSOU *
CHRONIQUE COÉCRITE AVEC CÉLINE GUIVARCH **

L'empreinte du changement climatique sur les événements extrêmes

2019 : mégafeux en Australie, vagues de chaleur sur l'ouest de l'Europe. 2020 : vague de chaleur et feux inédits en Sibérie. 2021 : dôme de chaleur au Canada, inondations en Allemagne et au Benelux, en Chine… à chaque fois, la question du rôle des activités humaines revient. Les progrès de la recherche sur « l'attribution » des événements extrêmes apportent aujourd'hui des réponses robustes et sans appel. Pour estimer l'influence humaine sur les phénomènes météorologiques extrêmes, l'attribution compare deux jeux de simulations de modèles climatiques, l'un correspondant au monde factuel (incluant le changement climatique) et l'autre à un monde contrefactuel sans perturbation humaine du climat. La différence entre les deux indique comment la probabilité et l'intensité d'un événement extrême sont modifiées par les activités humaines. On sait ainsi que le changement climatique a déjà augmenté d'au moins un facteur 10 la probabilité de survenue des vagues de chaleur de type 2019 en France. Certains événements auraient été « virtuellement impossibles » sans changement climatique, comme celui de juin au Canada. Le réchauffement rapide du climat nous amène en territoire inconnu, avec des conséquences graves pour les écosystèmes, la santé humaine… On sait que la fréquence et l'intensité des événements extrêmes augmenteront tant que les émissions de gaz à effet de serre persisteront et que la température globale ne sera pas stabilisée. Chaque fraction de réchauffement additionnel compte et il faut adapter très rapidement nos infrastructures, nos sociétés pour faire face en anticipant l'inédit. ■

> « Le changement climatique a déjà augmenté d'au moins un facteur 10 la probabilité de survenue des vagues de chaleur de type 2019 en France »

UNIVERSCIENCE

* Directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.
** Directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.

Ce que la science dit de l'ostéopathie

Pas facile d'évaluer selon des critères scientifiques l'efficacité de cette pratique de soins qui séduit nombre de Français. D'autant que l'ostéopathie comprend plusieurs courants à l'approche très différente. Décryptage.

Par Camille Gaubert @ CamilleGaubertb
et Coralie Lemke @ CoralieLemke

Un effet légèrement supérieur au placebo mais qui n'est pas cliniquement significatif. Voilà en substance la conclusion d'une grande étude publiée au printemps dans la revue *Jama Internal Medicine* ambitionnant d'évaluer l'efficacité de l'ostéopathie pour traiter le mal de dos. De quoi relancer le débat sur l'efficacité de cette pratique dont les Français sont friands. Née outre-Atlantique il y a un siècle et demi *(lire l'encadré p. 55)*, elle a en effet trouvé dans l'Hexagone un terrain si fertile que notre territoire compte aujourd'hui une densité record de 49 ostéopathes pour 100 000 habitants, loin devant les États-Unis (34 ostéopathes) et l'Italie (23) *(lire p. 56)*. Aussi le sujet de l'évaluation scientifique de ses effets est-il sensible dans notre pays.

L'ostéopathie semble parfois se fondre dans la pratique de la kinésithérapie. *« Les Français ne font généralement pas bien la différence entre les kinés et les ostéos »*, observe Nicolas Pinsault, directeur du département de kinésithérapie du CHU de Grenoble. Pourtant, seule la kinésithérapie est reconnue comme une pratique médicale et seul un tiers des ostéopathes sont aussi kinésithérapeutes. Malgré cela et en dépit de son origine ésotérique, l'ostéopathie est peu perçue comme une thérapie complémentaire. *« Pour l'immense majorité des gens, elle se résume à l'ostéopathie structurelle* [un des trois courants de l'ostéopathie, lire l'encadré ci-contre], *qui utilise des techniques manuelles ayant une action sur les os et les articulations qui, dans les faits, sont quasi similaires à*

Les techniques manuelles de l'ostéopathie structurelle, qui agissent sur les os et articulations, sont proches de celles de la kinésithérapie.

THOMAS LOUAPRE/DIVERGENCE

MANIPULATIONS

Trois pratiques à la loupe

OSTÉOPATHIE

L'ostéopathie, conçue comme une approche systémique, peut être structurelle, crânienne ou viscérale. La première est la moins controversée et se concentre sur les os et articulations avec des gestes parfois proches de ceux des kinés pour traiter les symptômes d'un dysfonctionnement. L'ostéopathie crânienne postule que les dysfonctionnements du corps sont liés aux os et fluides du crâne par un « mouvement respiratoire primaire » (MRP), micromouvement à l'existence encore non prouvée. Quant à l'ostéopathie viscérale, elle suppose que la perte de mobilité des organes peut entraîner une maladie. Par conséquent, la manipulation du crâne et des viscères permettrait de traiter le trouble d'origine.

CHIROPRACTIE

La chiropractie se concentre sur les os et articulations, et en particulier sur la colonne vertébrale et le système nerveux qu'elle abrite. Elle vise ainsi à soulager les douleurs articulaires, osseuses ou nerveuses (migraines par exemple). Tout comme l'ostéopathie, la chiropractie n'est pas reconnue comme médecine par le ministère de la Santé, mais comme pratique de soin non conventionnelle (PSNC).

KINÉSITHÉRAPIE

La kinésithérapie est la seule des trois à être remboursée par l'Assurance maladie, à pouvoir intervenir sur des pathologies établies et à être reconnue comme médecine. Elle permet de manipuler le patient, de mettre en place des exercices de rééducation et d'utiliser des appareils autres que les mains pour traiter des maladies.

THOMAS LOUAPRE/DIVERGENCE

Contrairement aux kinésithérapeutes, les ostéopathes agissent sans prescription médicale et leurs actes ne sont pas remboursables par la Sécurité sociale.

de la kiné », explique Nicolas Pinsault. Suffisant pour assurer une réelle efficacité selon des critères scientifiques ? C'est la question posée par la nouvelle publication. *« Dans notre équipe, nous avons cherché à évaluer la pertinence des manipulations ostéopathiques avec la même rigueur que d'autres traitements physiques complexes tels que la rééducation : en utilisant une méthode scientifique adaptée* », raconte Christelle Nguyen, chercheuse et spécialiste en médecine physique et de réadaptation à l'hôpital Cochin (Paris), auteure de l'étude. Lancé en 2010, l'ambitieux projet culmine en mars dernier lors de la publication des résultats dans la prestigieuse revue *Jama*. Entre ces deux dates, l'équipe s'est penchée sur 400 patients souffrant de lombalgie (mal de dos), un motif de consultation très fréquent en ostéopathie. Les patients étaient répartis en deux groupes, l'un recevant des manipulations ostéopathiques, et l'autre des « fausses » manipulations, principalement une simple imposition des mains, conçues avec trois ostéopathes. Après trois mois, les médecins constatent un très léger avantage (3 points sur un score de 100), en faveur du groupe ayant bénéficié des vraies manipulations ostéopathiques. Mais cette différence n'est pertinente que du point de vue statistique : *« Il faut au moins 20 points de d'écart pour parler d'une vraie différence clinique, perceptible pour le patient* », explique Christelle Nguyen. Pas de différence constatée non plus sur la consommation de médicaments, la qualité de vie ou la douleur.

Au moment de sa publication, l'étude n'a pas manqué de faire réagir les sociétés d'ostéopathie. Première critique, le choix d'évaluer une seule pathologie, qui plus est aux contours flous. *« La lombalgie commune est une dénomination "fourre-tout", ce qui rend l'étude difficile à évaluer. Quelqu'un qui souffre de lombalgies mais qui ne fait pas de sport se verra conseiller une activité physique ainsi qu'éventuellement des antidouleurs ; si elles sont dues à des métastases* [ce cas de figure étant exclu de l'étude], *l'approche sera complètement différente* », explique Christian Caldaguès, président de la Société française d'ostéopathie (SFO).

Une étude qui s'est focalisée sur le geste seul

Deuxième critique : l'évaluation du geste seul. En effet, une séance d'ostéopathie commence par un interrogatoire pour évoquer toutes les interventions chirurgicales déjà subies, l'historique des différents traumatismes et maladies du patient, le type de travail qu'il effectue mais aussi sa situation familiale. Une prise en charge globale dont l'approche ne serait pas reflétée dans l'étude du *Jama*. *« L'étude fait état d'une prise en charge standardisée. Elle évalue simplement quelques techniques, quelques manipulations. C'est regrettable de tirer des conclusions sur toute une discipline dans sa globalité* », regrette Dominique Blanc, le président d'Ostéopathes de France. Réponse de Christelle Nguyen : *« Il y avait bien un entretien lors de la première consultation, et nos conclusions portent*

CHRISTELLE NGUYEN

« Nous avons utilisé une méthode scientifique adaptée pour chercher à évaluer la pertinence des manipulations »

Christelle Nguyen, chercheuse et spécialiste en médecine physique et de réadaptation à l'hôpital Cochin, à Paris

sur les manipulations et non sur la discipline ostéopathique dans son ensemble. Nous avons fondé nos choix sur la littérature disponible et l'expérience des trois ostéopathes qui ont participé à l'étude. »

Autre choix discuté : la sélection des 20 ostéopathes pour prodiguer les soins aux patients de la cohorte, qui ne seraient pas représentatifs de l'ensemble de la profession. « *À la rigueur, il aurait fallu un seul praticien pour évaluer toujours le même geste* », suggère Marie-Hélène Sala, présidente de l'Association française d'ostéopathie (AFO). Mais cette critique soulève un autre problème : il n'existe pas de formation unifiée, identique dans toutes les écoles. Les enseignements de l'ostéopathie ont en effet longtemps été de qualité très inégale. En 2012, 75 % des heures de formation ne comportaient même « *aucune définition précise de contenu* » rapportait l'Inspection générale des affaires sociales (Igas). En particulier, il n'y avait aucune exigence quant au nombre d'heures à consacrer à la pratique clinique, c'est-à-dire traiter des patients — et pas seulement observer leur traitement. Sans norme établie à ce sujet, « *subsiste le doute quant à la qualité de sa pratique* », concluait l'Igas. D'autant que, contrairement aux États-Unis par exemple, la formation ne s'adresse pas aux seuls diplômés en études médicales.

Des différences de pratiques selon les cabinets

Ces disparités dans l'apprentissage se sont muées en différences de pratiques dans les cabinets. « *Comme nous n'avons pas de structure ordinale, on voit de tout,* concède Marie-Hélène Sala. *Certains travaillent de façon*

MUSEUM OF OSTEOPATHIC MEDICINE

Le médecin américain Andrew Taylor Still (1829-1917) (à gauche) a fondé l'ostéopathie après avoir eu une vision sur le « pouvoir d'autoguérison de l'homme ».

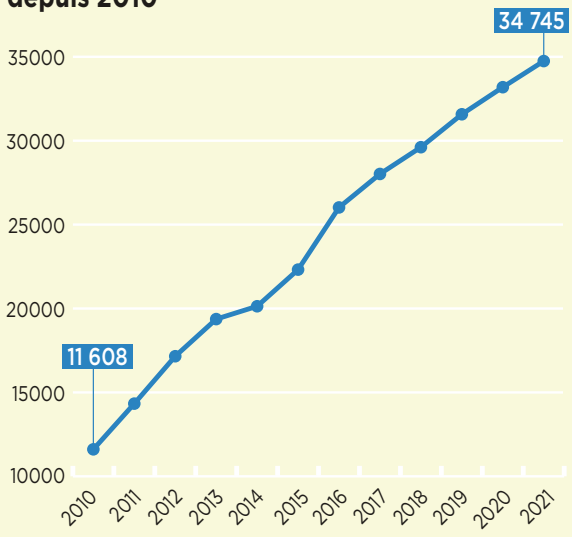
HISTOIRE

L'Américain qui « soignait avec les mains »

Aux États-Unis, au milieu du XIXe siècle, Andrew Taylor Still commence ses études de médecine à Kansas City, dans le Missouri. Longtemps médecin itinérant, il dissèque des centaines de cadavres pendant la guerre de Sécession, ce qui lui permet d'acquérir une excellente connaissance de l'anatomie humaine. Sa vie bascule en 1865, lorsque sa femme et ses trois enfants décèdent d'une méningite. Une épreuve dont il se remettra difficilement et de laquelle naît en lui une volonté de soigner plus efficacement.

À l'automne 1874, il rompt définitivement avec la médecine classique pour fonder l'ostéopathie. Andrew Taylor Still affirme avoir eu une vision qui lui confirme que l'humain a le pouvoir de s'autoguérir. La même année, il dit avoir réussi à guérir un enfant de la dysenterie en n'utilisant que le toucher. Il commence alors sa pratique et « soigne avec les mains ». En 1892, l'Americain School of Osteopathy, premier lieu d'enseignement au monde, voit le jour à Kirksville. Les étudiants qui en sortent prennent le titre de docteur en ostéopathie et non de docteur en médecine, une volonté d'Andrew Taylor Still qui tenait à distinguer ces deux activités professionnelles. La pratique s'étend alors dans tout le sud des États-Unis avant de gagner l'Europe avec le Britannique John Martin Littlejohn, un de ses élèves. Surnommé « le continuateur », il fondera la British School of Osteopathy à Londres en 1917, l'établissement qui lancera la discipline sur notre continent.

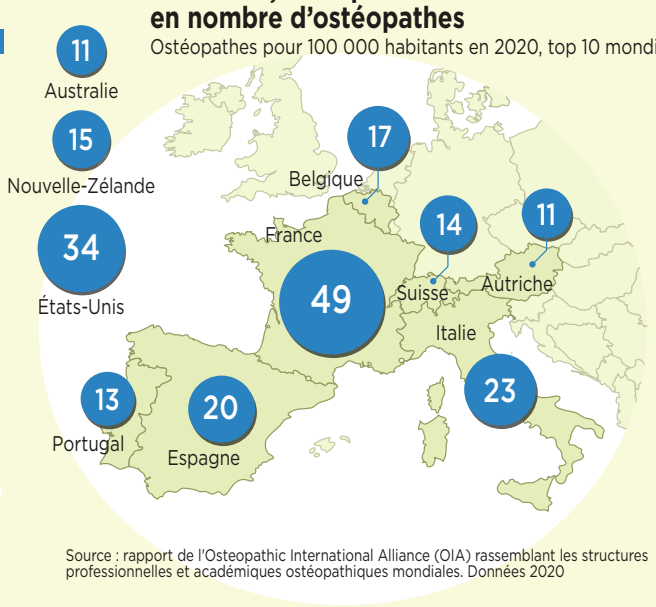
Nombre d'ostéopathes en France depuis 2010



Sources : Registre des ostéopathes/Drees 2021

La France, championne du monde en nombre d'ostéopathes

Ostéopathes pour 100 000 habitants en 2020, top 10 mondial



Source : rapport de l'Osteopathic International Alliance (OIA) rassemblant les structures professionnelles et académiques ostéopathiques mondiales. Données 2020

PSYCHOLOGIE SOCIALE

Aux origines de l'exception française

Pour Jocelyn Raude, chercheur en psychologie sociale à l'École des hautes études en santé publique, à Rennes, l'engouement des Français pour l'ostéopathie est symptomatique de celui qu'ils ont plus généralement pour les thérapies complémentaires. Et son origine serait relativement récente. Le scientifique met en lumière deux événements survenus un an après la crise financière de 2008, qui auraient profondément affecté la confiance de la population dans les autorités sanitaires : l'« affaire du Médiator » — la révélation d'effets indésirables cardiaques graves d'un médicament antidiabétique prescrit comme coupe-faim — et la commande massive du vaccin contre la grippe H1N1 par le gouvernement (94 millions de doses alors que seulement 5,74 millions seront utilisés). Ces deux « affaires » ont « *mis au jour des collusions possibles entre des acteurs industriels et les autorités de santé,* estime Jocelyn Raude. *C'est à cette période qu'apparaît le concept de "Big Pharma", dénonçant une industrie globale et sans âme à la recherche exclusive de profits* ». Les thérapies complémentaires comme la naturopathie, l'homéopathie ou l'acupuncture ont depuis le vent en poupe, se faisant « *le relais du scepticisme ambiant* ».

BRUNO BOURGEOIS

plus ésotérique, avec des pratiques telles que l'imposition des mains… Heureusement beaucoup d'ostéopathes agissent de façon plus pragmatique sans chercher à "deviner" ce que le patient a eu comme maladies dans une vie antérieure. » Le rapport de l'Igas a néanmoins fait grand bruit et a abouti en 2015 à une définition des conditions précises d'agrément des écoles… Elles sont alors passées de 74 à 22 sur le territoire français ! « *Il fallait réglementer les formations et les actes autorisés* », approuve Nicolas Pinsault. Depuis, les actes autorisés dans l'ostéopathie structurelle sont « *les mêmes* » que pour les kinésithérapeutes ou médecins rhumatologues. Ce qui pose question car l'ostéopathe n'est pas autorisé à prendre en charge des pathologies.

En attendant de pouvoir mesurer l'impact de cette réforme, c'est toujours un rapport publié en 2012 par l'Inserm qui fait foi en France. Sa conclusion : « *Les*

F. GUENET / DIVERGENCE

« C'est le contexte dans lequel le patient est mis qui fait le soin et qui semble réussir à répondre à sa plainte »

Bruno Falissard, professeur de santé publique à l'université de Paris-Saclay

réponses apportées par l'ostéopathie sont potentiellement efficaces dans les douleurs d'origine vertébrales, mais sans supériorité prouvée par rapport aux alternatives plus classiques [comme la rééducation ou des médicaments]. Dans les autres indications, on ne peut conclure en l'état actuel des études disponibles. Des événements indésirables rares mais graves peuvent survenir lors de manipulations des vertèbres cervicales. »

Un relationnel plus développé avec le praticien

Près de dix ans après avoir coécrit ce rapport, Bruno Falissard, professeur de santé publique à l'université Paris-Saclay, membre de l'Académie de médecine, estime que l'ostéopathie montre un effet positif, dans le sens où elle permet en partie de se passer de médicaments. Mais selon lui, impossible de s'en remettre à « la médecine fondée sur les preuves » (EBM, *evidence based medicine,* en anglais) pour l'évaluer. *« Cette approche a été construite pour évaluer des médicaments dans un cadre très particulier. La démarche expérimentale très rigide la rend mal adaptée pour évaluer l'ostéopathie.* » En clair, si un médicament peut être reproduit à l'infini, les gestes médicaux, eux, sont difficilement réplicables. Ce qui permet d'expliquer que les résultats de la nouvelle étude du *Jama* concordent avec ceux des précédents travaux sur le sujet, qui suggéraient déjà que la satisfaction des patients après une consultation d'ostéopathie tiendrait moins à la manipulation ostéopathique en elle-même qu'au relationnel plus développé avec le praticien, dans des consultations généralement deux fois plus longues qu'en kinésithérapie.

THOMAS LOUAPRE/DIVERGENCE

L'osthéopathie crânienne, comme toutes les autres prises en charge ostéopathiques, fait une large part au relationnel tissé avec le praticien, ce qui expliquerait en partie la satisfaction des patients.

« Que ce soit la chirurgie, l'ostéopathie ou même la psychologie, il y a un "effet soignant" très fort, si bien qu'on ne peut évaluer le soin séparément du soignant » poursuit Bruno Falissard. Pour lui, pas question toutefois de parler d'un « effet placebo ». Mais il reste à déterminer ce qui permet vraiment de relaxer le patient. La sensation du toucher, le dialogue avec le praticien, le geste ostéopathique en lui-même ? *« Cela réinterroge toute la notion de soin* », concède Bruno Falissard, qui a même trouvé une appellation pour ce genre de pratiques : les « soins contextuels ». *« C'est le contexte dans lequel le patient est mis qui fait le soin et qui semble réussir à répondre à sa plainte.* »

En analysant les résultats publiés dans le *Jama*, Christelle Nguyen fait le même constat. *« 10 % des patients se sentent transformés, avec les vraies comme avec les fausses manipulations ostéopathiques* », observe-t-elle.

L'équipe cherche donc à présent à identifier ceux qui se montrent très répondeurs aux effets contextuels du toucher, afin de leur éviter d'autres traitements plus invasifs. Les résultats seront dévoilés à la fin de l'année. *« Nous avons aujourd'hui les moyens méthodologiques d'évaluer des approches complémentaires,* conclut-elle. *C'est la croisée des chemins : reste-t-on dans l'empirisme ou essaie-t-on d'en évaluer l'intérêt selon des méthodes adaptées ?* » ■

Covid long : les malades enfin pris en charge

Des mois après leur infection, certains patients souffrent encore de symptômes handicapants. Des solutions concrètes s'offrent à ceux qui ne se sont jamais remis du Covid-19. Reportage dans une consultation spécialisée à l'Hôtel-Dieu à Paris.

Elle a placé tous ses espoirs dans ce rendez-vous qu'elle a tant attendu. Après plusieurs mois d'errance médicale, Patricia*, 53 ans, va enfin se faire examiner par un médecin spécialisé à l'Hôtel-Dieu, à Paris, dans le cadre de consultations dédiées au Covid long. Sur ses genoux, tout son historique médical, consigné et trié dans un gros classeur rose. Plus d'un an après avoir contracté le Covid-19, cette auxiliaire de puériculture sans antécédents médicaux ni comorbidités souffre toujours d'un fort essoufflement. Elle ne termine quasi aucune de ses phrases sans avoir besoin de reprendre sa respiration. Après avoir contracté le Covid-19 en mars 2020, elle commence par éprouver une perte du goût et de l'odorat, une fatigue, des frissons. Des symptômes classiques auxquels s'ajoutent des signes plus étranges, telles de fortes démangeaisons, comme si elle avait *« le corps en feu »* ainsi que cet essoufflement qui lui gâche la vie.

Impossible pour elle de reprendre son travail à la crèche comme avant. *« Je tousse quand je monte les escaliers, quand je range les jouets, quand j'ai une conversation au téléphone… Si je sens que je manque d'air, j'ouvre une fenêtre, je m'assieds par terre et je prends de la Ventoline* [vasodilatateur]. » Elle reprend finalement son emploi en septembre mais en mi-temps thérapeutique.

À l'Hôtel-Dieu, nombre de patients sont eux aussi fatigués et essoufflés. *« Cette grande fatigue concerne au moins 70 % des gens qui consultent. Il s'agit de patients qui, par moments, ont même du mal à aller du lit au canapé »*, raconte Dominique Salmon-Ceron, infectiologue en charge de la consultation spécialisée dans le Covid long. Les formes de la maladie peuvent être très diversifiées et il est difficile pour les patients de trouver un médecin qui sache les prendre en charge.

Une extrême diversité de symptômes

Cette errance médicale rend difficile toute estimation du nombre de malades. De premiers travaux commencent à permettre de tracer les contours de cette nouvelle maladie. Ils confirment d'abord l'extrême diversité des symptômes : troubles respiratoires, du système nerveux, problèmes de santé mentale, troubles métaboliques ou cardio-vasculaires, malaises, fatigues, anémie, douleurs musculo-squelettiques… D'après une grande étude américaine publiée dans *Nature* en avril dernier, plus l'infection initiale est sévère, plus le risque de souffrir de symptômes au long cours est important. Ce qui ne veut pas dire qu'ils épargnent pour autant ceux qui ont été atteints par une forme plutôt bénigne, comme c'est le cas de Patricia.

Quant à la cause du Covid long, elle demeure mystérieuse. Ce qui complique la prise en charge. Mais les travaux de recherche permettent d'ouvrir de nouvelles perspectives de traitement. Ainsi, l'une des hypothèses émises pour expliquer la maladie repose sur une dégradation des tissus dans plusieurs endroits du corps. Des scanners de malades ont par exemple montré d'importantes lésions de cellules dans les poumons. Un phénomène qui peut se reproduire ailleurs dans l'organisme, comme dans le cerveau. Ces dommages seraient à

D. SALMON-CERON

« Certains patients sont fatigués au point de ne pouvoir, par moments, aller du lit au canapé »

Dominique Salmon-Ceron, infectiologue, responsable de la consultation spécialisée en Covid long à l'hôpital de l'Hôtel-Dieu, à Paris

CAMILLE GHARBI

Avant d'entamer une réadaptation par le sport, les patients de l'Hôtel-Dieu de Paris atteints de Covid long passent une épreuve d'effort.

l'origine de la gêne respiratoire éprouvée par les malades mais aussi de tous les symptômes en lien avec le système nerveux. Si cette piste se confirme, alors la priorité resterait à la rééducation, conformément à ce qui est déjà proposé dans les consultations spécialisées.

La piste d'un système immunitaire « détraqué »

Les symptômes du Covid long pourraient aussi être provoqués par des changements dans le système immunitaire. « *Il est possible que le Sras-CoV-2 l'ait totalement détraqué lors de son passage dans l'organisme et qu'il ait déclenché une réaction auto-immune* », explique Igor Koralnik, de la Northwestern School of Medicine à Chicago (États-Unis). « *La part des femmes chez les malades atteints de Covid long qui n'ont pas exigé d'hospitalisation est plus importante, ce qui est compatible avec l'hypothèse auto-immune, puisque les maladies auto-immunes comme la sclérose en plaques, le lupus et la polyarthrite rhumatoïde sont plus fréquentes chez les femmes.* » Avec son équipe, Igor Koralnik est en train de comparer un groupe de patients souffrant de Covid long avec un groupe de patients remis de la maladie sans séquelles. « *Nous cherchons à savoir s'il existe une différence quantitative et qualitative des lymphocytes T, essentiels pour éliminer les virus. Dans le cas d'une réponse immunitaire perturbée, ces derniers continueraient de s'attaquer* ▸

CAMILLE GHARBI

Sous les arcades de l'Hôtel-Dieu de Paris, des malades font des exercices guidés par une spécialiste en activités physiques adaptées.

à l'organisme alors que le virus n'est plus présent. »

L'autre versant de cette hypothèse serait que le virus est toujours présent « à bas bruit » dans l'organisme et qu'il suscite une réponse immunitaire. Certaines équipes de recherche supposent en effet que les malades conservent en eux des traces de Sras-CoV-2, le virus responsable du Covid-19. Une quantité trop faible pour être détectée par des tests PCR mais assez importante pour maintenir un niveau d'infection dans l'organisme et entraîner des symptômes persistants. « *Ce phénomène a déjà été constaté dans d'autres pathologies virales, par exemple pour Ebola, la dengue ou encore la rougeole, où l'organisme tente de se débarrasser de résidus de virus. Le principe pourrait bien être le même pour le Covid-19* », explique Avindra Nath, professeur spécialisé en neuro-immunologie aux Instituts nationaux de la santé, aux États-Unis. « *Si cette hypothèse venait à se confirmer, les patients pourraient être soignés grâce à des traitements antiviraux. Le problème, c'est que pour le moment aucune molécule de ce genre n'a encore montré d'effets contre le Sras-CoV-2.* »

En attendant de pouvoir s'attaquer à la racine du mal, la prise en charge consiste aujourd'hui à traiter les différents symptômes dont se plaignent les patients afin d'améliorer leur qualité de vie. C'est ce qui se fait à l'Hôtel-Dieu, en travaillant sur les troubles un à un afin de ramener le patient vers une vie normale. Patricia, par exemple, ne présente pas de perte de mémoire, pas de troubles digestifs, des scanners thoraciques et une échographie cardiaque normaux. « *L'essentiel est de procéder à une réadaptation progressive pour combattre*

RESSOURCES

Où trouver de l'aide

Île-de-France

- L'Hôtel-Dieu de Paris a lancé des consultations spécialisées et propose un bilan complet au malade avant de travailler sur les symptômes. La consultation est assurée par la Pr Dominique Salmon-Ceron, infectiologue. **sciav.fr/895HotelDieu**
- L'hôpital Foch de Suresnes (Hauts-de-Seine) a mis en place « Rehab-Covid », un programme de rééducation après une infection. Se référer au Dr Nicolas Barizien, chef de service de médecine physique et réadaptation. **sciav.fr/895Foch**

Grand-Est

- Les Hôpitaux universitaires de Strasbourg ont créé une « consultation thématique » consacrée au Covid long au sein du service de rhumatologie. Celle-ci est chapeautée par le Pr Jean Sibilia, spécialiste en immuno-rhumatologie. **sciav.fr/895Strasbourg**

PACA

- À Marseille, le service ORL de l'hôpital de la Conception propose une rééducation olfactive pour les patients atteints de Covid long qui ont perdu l'odorat. **sciav.fr/895Conception**

Sur le Web

- L'association « ApresJ20 » est un réseau d'entraide pour les personnes souffrant de Covid long. Elle publie de nombreuses ressources pour les malades sur son site : **sciav.fr/895Apresj20**

cette aggravation causée par l'effort. On peut ainsi réapprendre à respirer, à bien utiliser son diaphragme. En complément, des bilans complets sont prescrits pour éliminer toute pathologie sous-jacente, comme une hypothyroïdie ou une pathologie inflammatoire », détaille la Pr Salmon-Ceron.

Des bilans neurologiques poussés

Certains patients passent des TEP-scan, une imagerie qui permet de voir si certaines zones du cerveau ne fonctionnent pas correctement, d'autres bénéficient de bilans neurologiques poussés. *« Ne vous inquiétez pas, on va y arriver. Vous avez fait le plus dur! »* Dominique Salmon-Ceron ne lésine pas sur les encouragements. Ce suivi régulier et spécialisé constitue bien souvent le premier pas vers une vie plus facile pour ces malades demeurés longtemps sans solutions.

Coralie Lemke

@CoralieLemke

* Le prénom a été modifié.

DERNIÈRES NOUVELLES DE LA CRISE DU COVID

40 % des cerfs nord-américains infectés

Près de la moitié des cerfs d'Amérique du Nord auraient été infectés par le virus du Covid-19. Selon une étude du Centre national de recherche sur la vie sauvage aux États-Unis, environ 40 % des cerfs du pays ont déjà des anticorps contre le Sras-CoV-2. Une découverte qui témoigne d'une potentielle infection massive chez les animaux sauvages du pays et donc de réservoirs animaux pour le coronavirus. **N. G. C.**

Source : Jeffrey Chandler, National Wildlife Research Center, États-Unis.

Le premier « chien renifleur de Covid » visite un Ehpad

Après quatre semaines de « formation » à l'École vétérinaire d'Alfort, Pokaa, un golden retriever de 2 ans, a été déclaré apte à traquer le Covid-19 : sa sensibilité olfactive lui permet d'identifier la présence de la protéine Spike du virus sur des tissus imprégnés de sueur dans 100 % des cas. Il mène sa première mission à l'Ehpad La Roselière de Kunheim (Haut-Rhin). **M. N.**

Un traitement à base d'anticorps réduit la mortalité

L'antiviral REGEN-COV de l'entreprise américaine Regeneron — dont Donald Trump a bénéficié en 2020 — permet de réduire la mortalité de 20 % chez les personnes qui n'ont pas encore produit des anticorps contre le virus. Un résultat dans le cadre de l'essai britannique Recovery sur près de 10 000 patients. Son administration pourrait être utile pour la moitié des patients qui n'arrivent pas à produire d'anticorps une semaine après l'infection. **N. G. C.**

SEBASTIEN BOZON / AFP

Pokaa en mission à l'Ehpad La Roselière, à Kunheim (Haut-Rhin).

13 mutations génétiques à risque

En comparant le génome de 49 562 patients atteints de Covid à celui de plus de deux millions de personnes en bonne santé, une collaboration internationale de 3300 chercheurs a mis en évidence un panel de mutations génétiques augmentant le risque face au Covid-19. Sur les 13 mutations recensées, 9 influenceraient plus particulièrement la probabilité de forme grave, tandis que les 4 autres augmenteraient le risque d'être infecté. **N. G. C.**

Source : Covid-19 Host Genetics Initiative, *Nature*.

La santé psychologique des soignants à rude épreuve

La moitié des soignants travaillant dans des services de réanimation présentent des problèmes psychologiques consécutifs à la crise sanitaire selon une étude. Sur 515 soignants recrutés dans sept pays — dont 309 en France —, 78 % souffraient d'insomnies, 37 % présentaient des signes de dépression et 28 % des symptômes de troubles du stress post-traumatique. **H. J.**

Source : Ahmed Ezzat, Imperial College London, Royaume-Uni.

SHUTTERSTOCK

« Gyromitra gigas » contient des toxines susceptibles d'induire une dégénérescence des neurones.

Un champignon lié à des cas de maladie de Charcot

La consommation de fausses morilles est à l'origine d'une dizaine de cas de sclérose latérale amyotrophique dans un petit village de Savoie. Le résultat de dix années d'enquête.

Une équipe franco-américaine vient de résoudre une énigme médicale vieille de plus de dix ans dans le village de Montchavin, près de la station de ski de La Plagne (Savoie). En effet, c'est là qu'en 2009, une médecin généraliste observe un fait troublant : pour la troisième fois, elle diagnostique chez un habitant une affection neurodégénérative mortelle assez rare, la sclérose latérale amyotrophique (SLA) ou maladie de Charcot. Elle alerte des spécialistes de cette pathologie qui lancent alors une enquête approfondie. Dans un premier temps, ils trouvent 11 autres cas dans le village entre 1991 et 2013, dont la moitié sont déjà décédés. Une concentration de malades d'autant plus surprenante qu'ils n'ont aucun lien de parenté. Âgés de 39 à 75 ans, ils se connaissent tous. Une cause environnementale étant dès lors suspectée, toutes les pistes possibles sont explorées : traces de toxines bactériennes ou de plomb dans l'eau, de gaz radon dans les habitations, de pollution de l'air ou de la terre par des pesticides ou des métaux lourds… en vain. Dans l'impasse, les chercheurs ont toutefois attiré l'attention de Peter Spencer, toxicologue à l'université de l'Oregon aux États-Unis, qui a déjà enquêté sur une situation similaire sur l'île de Guam, dans l'ouest du Pacifique. La graine d'une plante locale, le cycas du Japon (ou « petit rameau » aux Antilles) consommée traditionnellement s'était révélée à l'origine de nombreux cas de SLA. Le spécialiste va relancer les recherches en suspectant non pas le cycas, mais un champignon toxique répandu, le gyromitre géant, ou fausse morille (*Gyromitra gigas*), qui contient des toxines proches de celles du cycas par leur mode d'action. Dans l'étude publiée par le *Journal of Neurological Sciences*, les scientifiques rapportent que les 14 malades ont bien consommé le champignon à plusieurs reprises des années auparavant, contrairement aux autres villageois.

La fausse morille reste un mets prisé en Finlande

Habitués à cuisiner des plantes ou des champignons sauvages, certains malades se souviennent même avoir été sérieusement incommodés après de copieux repas comprenant, avec de vraies morilles, des gyromitres dont la vente est interdite en France depuis 1991 en raison d'une toxicité potentielle. Parallèlement, en Finlande, une recrudescence de SLA a été observée dans une région où le champignon est un mets prisé. Sur l'île de Guam en revanche, les cas de la maladie ont chuté depuis que les graines de cycas ont été bannies de la cuisine locale. De quoi convaincre définitivement de renoncer à la fausse morille dans les repas entre amis. ■

Pierre Kaldy

ÉVÉNEMENT 2021
EXPOSITION UNIVERSELLE DUBAI

Sciences et Avenir vous convie à une croisière unique, à l'occasion de l'exposition universelle de 2021 à Dubaï.

L'événement promet en effet d'être sans précédent, et pas seulement parce qu'il s'agit d'une première dans la région Moyen-Orient, Afrique, où 180 pays se retrouveront ainsi rassemblés. Son thème, qui appelle à **« Construire le futur »** est en parfaite résonance avec la ligne éditoriale de Sciences et Avenir. Il projette en effet dans l'avenir, avec toutes les interrogations majeures du présent : quelles sciences (climatologie, génétique, intelligence artificielle...) pour assurer une économie et une société durables ? Quelles nouvelles technologies pour la mobilité, entre avions, fusées mais aussi trottinettes ! Quelles opportunités nouvelles voyons-nous surgir ? Notre futur promet d'être, en effet, celui que nous voulons bâtir, fort de nos héritages, mais aussi en phase avec la modernité. Ici, l'invitation à « connecter les esprits ». Ces promesses d'avancées, nous les analyserons avec des scientifiques, des économistes, des spécialistes de géopolitique et de nouvelles technologies, de très haut niveau. Et ce, lors d'une croisière étonnante, faisant étape à Dubaï et au Pavillon Français de l'Exposition Universelle, mais aussi à Abu Dhabi et son musée du Louvre, ou encore en visitant la Rose des Sables, musée du Qatar à Doha... Des découvertes et des rencontres passionnantes en perspective.

SCIENCES ET AVENIR

Challenges

CROISIÈRE
LA MAGIE DES EMIRATS

10 JOURS / 7 NUITS
DU 03 AU 12 DEC. 2021
A BORD DU MSC VIRTUOSA

- 2 JOURS À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE DUBAI
- ENTRÉES FAST TRACK
- VISITE DU PAVILLON FRANÇAIS
  Conférence et cocktail dînatoire
- EXCLUSIVITÉ : L'ARCHITECTOURS À DUBAI ET ABU DHABI.
- VISITE GUIDÉE MUSÉE DU LOUVRE ABU DHABI
- VISITE DE LA MOSQUÉE D'ABU DHABI
- VISITE DU PALAIS PRÉSIDENTIEL À ABU DHABI
- VISITE DU MUSÉE LA ROSE DES VENTS À DOHA
- VISITE DE LA BURJ EL KHALIFA
  LA TOUR LA PLUS HAUTE DU MONDE À DUBAI
- POUR LA PREMIÈRE FOIS, UNE ESCALE
  EN ARABIE SAOUDITE AUX PORTES
  DE LA PLUS GRANDE OASIS AU MONDE.
- BOISSONS À TABLE INCLUSES ET FORFAIT SÉJOUR À BORD

Dominique LEGLU
Directrice éditoriale

AVEC VOUS À BORD !
Les conférenciers

Mikaa MERED
Professeur de géopolitique, observateur et analyste des Emirats Arabes, spécialiste des pôles et de l'hydrogène.

Marie-Christine de WARENGHIEN
Incontournable pour les architectours à Dubai & Abu Dhabi.

Jean-François CLERVOY
Astronaute français.
Président de Novespace, filiale du Centre national d'Etudes spatiales (CNES).

Graph : www.parcelle-et.com / Crédits photos : Expo 2020 Dubai et Pixabay, CCO

À PARTIR DE
2 790 €/PERS.
Au départ de Paris - En tout inclus

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :
BLEU VOYAGES
voyager@bleu-voyages.fr
TÉL. 04 72 76 75 66
www.expo2021.fr

Selectour Bleu Voyages

MSC CROISIÈRES Emirates

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 € • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.

Trois pistes pour vaincre la tuberculose

Le BCG fête ses 100 ans mais la maladie tue encore. Les chercheurs ont ouvert trois fronts pour l'éradiquer : la découverte d'un vaccin plus efficace, la mise au point de traitements plus courts et accessibles et le développement de tests pour prédire les résistances.

Non la tuberculose n'a pas disparu. Cette maladie terrible est toujours responsable, cent ans après la première vaccination en France par le célèbre BCG (bacille de Calmette et Guérin, *lire l'encadré p. 66*), de 1,5 million de morts par an dans le monde. Chaque année, 10 millions de nouveaux cas sont recensés. En France, le taux d'incidence est passé de 155 cas pour 100 000 habitants en 1946 à 7,4 en 2014. Mais depuis, ce chiffre stagne et les médecins détectent toujours environ 5000 cas par an. Certes l'incidence nationale semble faible, notamment rapportée à celle bien plus élevée dans les huit pays* concentrant deux tiers des cas mondiaux, comme les Philippines (560 cas pour 100 000 habitants). Mais elle cache des disparités géographiques et sociales importantes. Trois régions restent à haut risque : la Guyane, Mayotte et l'Île-de-France. Pauvreté, malnutrition, immunodépression (par exemple chez les malades du sida) sont autant de facteurs de risque bien identifiés, qui expliquent aussi la forte incidence retrouvée chez les migrants, les sans-abri, les détenus…

1,5 million
de morts par an dans le monde.

10 millions
de nouveaux cas par an dans le monde.

7,4 cas
pour 100 000 habitants en France

10 à 15 personnes par an
peuvent être contaminées par un malade non traité.

Aujourd'hui, près d'un tiers de la population mondiale est porteuse du bacille de Koch (*Mycobacterium tuberculosis*). Cette bactérie sait se faire silencieuse et se réveille parfois bruyamment. Si l'on estime que le diagnostic et le traitement de la tuberculose ont permis de sauver 60 millions de vies entre 2000 et 2019, la situation ne s'améliore plus, malgré un vaccin et des antibiotiques spécifiques. Deux raisons à cela. La première est la faible efficacité du BCG. *« Nous avons besoin de nouveaux vaccins qui protègent à la fois contre l'infection et la transmission,* insiste Olivier Neyrolles, médaille d'argent 2021 du CNRS et directeur de l'Institut de pharmacologie et de biologie structurale (université Paul-Sabatier, Toulouse). *C'est pour cela qu'il nous faut encore mieux comprendre l'immunité complexe du bacille tuberculeux et intensifier nos efforts de recherche fondamentale. »* La seconde est liée aux résistances régulièrement développées par la bactérie. Aujourd'hui, il y a urgence. Un rapport de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), publié en 2020, précise que si des mesures ne sont pas prises rapidement, la région Europe de l'OMS (53 pays) ne parviendra pas à l'éradication de la maladie, initialement prévue pour 2030. Aussi les chercheurs poursuivent-ils trois pistes : la découverte d'un vaccin plus efficace, la mise au point de traitements plus courts et accessibles et le développement de tests pour prédire les résistances. État des lieux de ces recherches.

1 Mettre au point un meilleur vaccin

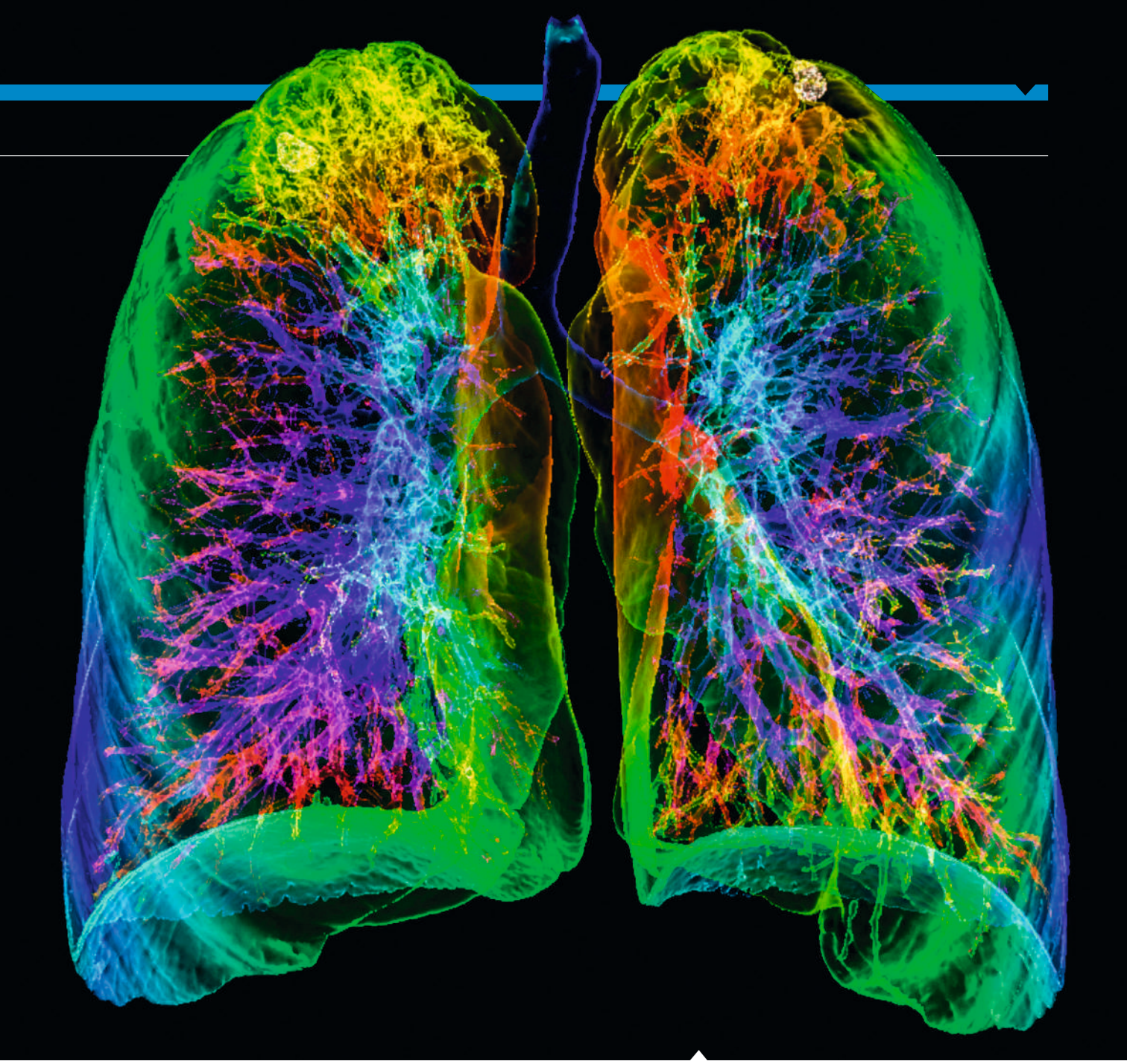
Le BCG est le vaccin le plus administré au monde. Depuis sa création en 1921, plus de trois milliards de personnes l'ont reçu. Près de 80 % des enfants dans le monde en bénéficient au moment de la naissance. Or,

MOBILISATION INTERNATIONALE

Un forum mondial en France en 2022

Après Genève (Suisse) en 2001, Tallinn (Estonie), en 2010, Le Cap (Afrique du Sud), en 2013, Shanghai (Chine) en 2015 et New Delhi (Inde) en 2018, ce sera au tour de Toulouse d'accueillir en février 2022 (avec un an de retard, en raison de la pandémie de Covid-19) la 6e édition du forum mondial sur les vaccins contre la tuberculose. Les principaux organismes internationaux* engagés dans la lutte contre la mycobactérie tueuse, organisateurs du forum, ont retenu la candidature de la France portée par Isabelle Saves et Olivier Neyrolles, directeur de l'Institut de pharmacologie et de biologie structurale (IBPS) de Toulouse. En mars, le chercheur, qui travaille depuis vingt ans sur le sujet, a reçu la médaille d'argent CNRS 2021 pour l'ensemble de ses travaux.

* Stop TB Partnership, IAVI (International AIDS Vaccine Initiative), TBVI (Tuberculosis Vaccine Initiative).



Le bacille « Mycobacterium tuberculosis » (en jaune), qui touche le plus souvent les poumons (ici vus au scanner), se transmet par des gouttelettes contaminées en suspension dans l'air, émises notamment par la toux de personnes atteintes.

SPL/SUCRE SALÉ

si ce vaccin est efficace chez le nouveau-né, en réduisant de plus de 80 % le risque de développer des formes graves comme celles affectant le cerveau, il l'est moins pour réduire chez l'adulte la transmission des formes pulmonaires (environ 50 %). À l'institut Pasteur de Lille, Camille Locht, directeur de recherche Inserm, travaille avec son équipe à la mise au point d'un vaccin de rappel, administré à l'adolescence, qui permettrait de prolonger l'efficacité de la primo-vaccination avec le BCG. Une piste prometteuse en cours d'étude. « *Mais il nous faut aussi travailler, sur un vaccin qui empêche à la fois l'infection, la maladie et la rechute* », précise le chercheur. En pratique, c'est plutôt compliqué. Car « *ici, pas de protéine Spike à cibler comme avec le Sras-CoV-2, ni d'anticorps capables de neutraliser le germe,* poursuit Camille Locht. *Les personnes infectées par le bacille tuberculeux ne sont pas protégées contre une réinfection, l'immunité naturelle antituberculeuse impliquant les lymphocytes T étant très différente des immunités induites par d'autres bactéries.* »

Plus d'une dizaine de vaccins sont néanmoins aujourd'hui à l'étude. « *Mais la recherche antituberculeuse ne bénéficie pas des mêmes moyens financiers que celle consacrée au Covid-19* », regrette Olivier Neyrolles. Démarrées depuis déjà plus de dix ans, les phases 3 des essais vaccinaux tardent à se multiplier, faute de

VACCINATION

L'aventure centenaire du BCG

Juillet 1921 : première vaccination au monde contre la tuberculose. La scène se passe à Paris, à l'hôpital de la Charité, qui se trouvait à l'emplacement de la faculté de médecine, au 45 de la rue des Saints-Pères, où une plaque commémore l'événement. Il aura fallu treize ans de travaux acharnés (et plus de 200 passages successifs dans des milieux de culture à base de tranches de pomme de terre imprégnées de bile de bœuf glycérinée) pour que le médecin Albert Calmette et le vétérinaire Camille Guérin, tous deux à l'institut Pasteur, obtiennent enfin un vaccin vivant atténué, leur fameux BCG (bacille de Calmette et Guérin). Trois lettres passées depuis à la postérité pour des travaux dont la mémoire est toujours entretenue par l'arrière-petit-fils de Camille Guérin avec son association*. À l'été 1921, le Dr Weill-Hallé, pédiatre à la Charité, expose aux codécouvreurs du BCG le cas d'un enfant dont l'état est désespéré. Sa mère tuberculeuse est décédée quelques heures après l'accouchement, les grands-parents, également malades, refusent de se séparer de l'enfant qui ne pourra donc être élevé que dans cet environnement contaminé, ce qui le condamne à une mort prochaine. Après moult hésitations, Albert Calmette et Camille Guérin administrent le vaccin par voie buccale à ce nouveau-né dans sa première semaine de vie. Six mois après, l'enfant est considéré sauvé. D'autres suivront ; l'aventure du BCG avait démarré.

KHARBINE TAPABOR

Testé sur un nouveau-né le 18 juillet 1921, le vaccin BCG a été rendu obligatoire en France en 1950.

* association-camille-guerin.com

financement. Aujourd'hui, plusieurs essais ont néanmoins été lancés. En Inde (VPM1002 mis au point par l'institut allemand Max-Planck), en Espagne (MTBVAC du laboratoire Biofabri), en Afrique (M72 avec Glaxo Smith Kline et la Fondation Gates — le plus avancé). Les résultats de nombre d'entre eux seront présentés en 2022, lorsque la communauté internationale se retrouvera en France pour le 6e forum mondial *(lire l'encadré p. 64)*.

2 Des traitements plus courts et plus puissants

Des traitements à prendre tous les jours pendant au moins six mois, et parfois durant deux ans en cas de résistance, tels sont les protocoles thérapeutiques en vigueur, tous reposant sur différents antibiotiques. Le plus souvent, il s'agit d'une quadrithérapie (quatre molécules en association) pendant deux mois puis une bithérapie pendant deux autres mois. *« La durée des traitements s'explique par le fait que le bacille tuberculeux se divise d'une part très lentement, une fois par jour contre une fois en 20 minutes pour* Escherichia coli, précise Alain Baulard, directeur de recherche Inserm à l'Institut Pasteur de Lille. *Et d'autre part, parce que le bacille se cache en profondeur dans les macro-*

MAXPPP

« Une molécule a permis de reprogrammer la bactérie et de la rendre sensible à l'antibiotique »

Alain Baulard, directeur de recherche Inserm à l'Institut Pasteur de Lille

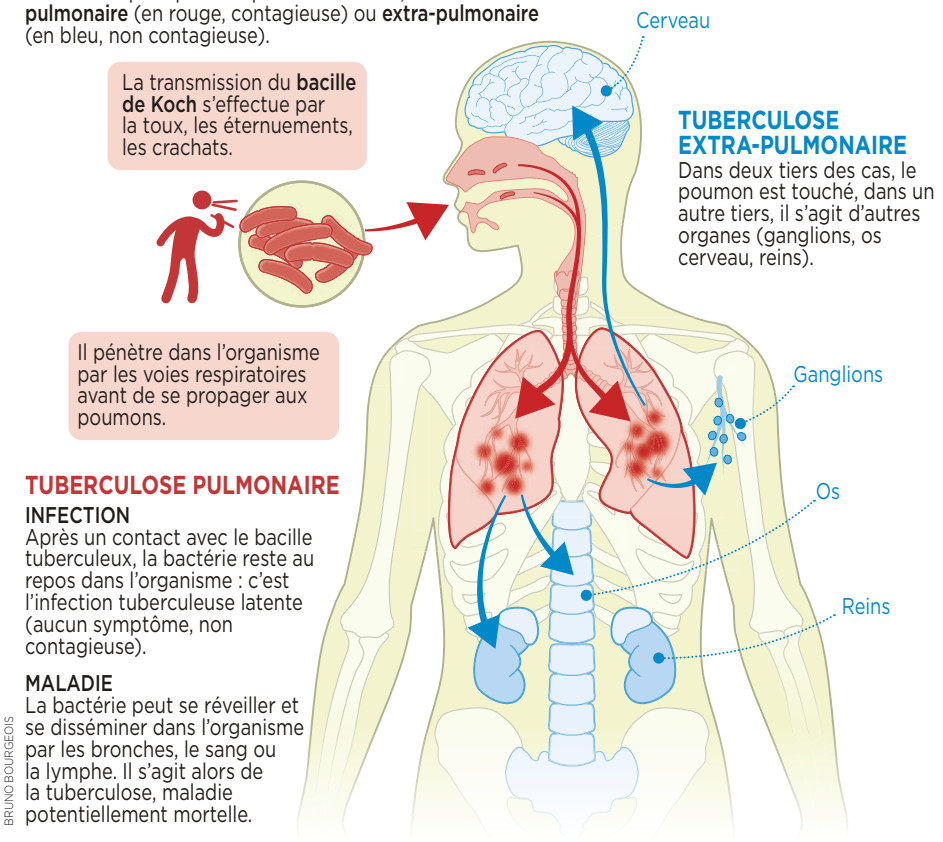
phages des poumons. Mais ces associations, aux nombreux effets secondaires, ne sont efficaces que dans 60 % des cas, en raison de mutations génétiques qui ont longtemps été considérées à tort comme étant difficilement réversibles. »

Avec son équipe, il a démontré contre toute attente en 2017 dans une étude parue dans la revue *Science* que chez l'animal, il est en fait possible de rendre à nouveau sensible la bactérie résistante à l'une des molécules utilisées, l'éthionamide. « *Nous avons couplé à l'antibiotique une molécule, SMARt-420, qui a permis de réveiller une nouvelle voie d'activation de l'antibiotique, et de reprogrammer complètement la bactérie* », détaille le chercheur. Ainsi, des souris infectées par des bacilles tuberculeux résistant à cet antibiotique ont pu finalement être traitées efficacement. Depuis ces résultats, des essais ont débuté chez l'humain, menés en partenariat avec le laboratoire GSK et une start-up lilloise, Bioversys. Ils sont en cours en Espagne et en Afrique du Sud. D'autres travaux plus récents, publiés en mai dans le *New England Journal of Medicine,* ont démontré qu'en ayant recours à une autre molécule, la rifapentine, il est possible de réduire de deux mois la durée du traitement. Ce traitement de quatre mois au lieu de six reste toutefois en attente du feu vert de l'OMS.

Autre bonne nouvelle, l'association de deux nouveaux antibiotiques, la bédaquiline et le délamanide, pourrait relever le défi de la multirésistance. À condition bien sûr que les protocoles thérapeutiques soient accessibles à des populations souvent démunies et sous-alimentées.

LES DEUX TYPES DE TUBERCULOSE

La maladie peut prendre plusieurs formes, **pulmonaire** (en rouge, contagieuse) ou **extra-pulmonaire** (en bleu, non contagieuse).



TUBERCULOSE PULMONAIRE

INFECTION
Après un contact avec le bacille tuberculeux, la bactérie reste au repos dans l'organisme : c'est l'infection tuberculeuse latente (aucun symptôme, non contagieuse).

MALADIE
La bactérie peut se réveiller et se disséminer dans l'organisme par les bronches, le sang ou la lymphe. Il s'agit alors de la tuberculose, maladie potentiellement mortelle.

BRUNO BOURGEOIS

3 Prédire les résistances aux traitements

« *Aujourd'hui, avec les tests standards, nous passons à côté de 70 % des cas de tuberculose multirésistante,* lance Philip Supply, chercheur CNRS à l'Institut Pasteur de Lille. *Cette non-détection conduit à prescrire des traitements inefficaces, ce qui accroît la mortalité et la contagion tout en favorisant l'acquisition de résistances additionnelles à d'autres antibiotiques.* » Ses travaux sur un nouvel algorithme de détection des résistances, publiés en octobre 2018 dans *The Lancet Infectious Diseases,* devraient changer la donne. En collaboration avec la start-up Genoscreen, le chercheur a mis au point un test, Deeplex-MycTB. Reposant sur le séquençage dit de nouvelle génération, il est capable de détecter simultanément les résistances à 13 antituberculeux différents. En pratique, un kit moléculaire analyse des crachats avec une réponse obtenue en moins de 48 heures dans une application. Déjà utilisé dans une vingtaine de pays par l'OMS, il est en phase de test dans une très vaste étude sur le continent africain, DIAMA (Diagnostics for Multi Drug Resistant Tuberculosis in Africa) dont l'objectif est de combler les lacunes dans le diagnostic et la prise en charge des patients. Un réel espoir. ■

Sylvie Riou-Milliot

*Inde, Indonésie, Chine, Philippines, Pakistan, Nigeria, Bangladesh, Afrique du Sud.

Une seule séance de sport aurait des effets bénéfiques deux heures durant sur nos facultés de concentration ou de mémorisation.

PLAINPICTURE

Cinq questions pour bien entretenir son cerveau

Le déclin des performances cognitives n'est pas une fatalité. La science permet de mieux préserver et de retarder le vieillissement cérébral grâce à des actions ciblées. Aperçu des principes quotidiens qui font du bien au cerveau.

1 Le vieillissement de notre cerveau est-il évitable ?

Nos aînés à l'esprit vif et à la mémoire préservée nous le rappellent quotidiennement : le cerveau est un organe qui résiste particulièrement bien au temps. Si notre corps le permettait, nos neurones pourraient fonctionner entre 140 et 150 ans ! Leur nombre ne diminue d'ailleurs que très peu avec l'avancée en âge. Les troubles cognitifs qui peuvent apparaître sont surtout liés à l'altération des conditions de fonctionnement de ces neurones. Certains microvaisseaux qui apportent l'énergie se bouchent, certaines connexions qui transmettent les informations se font moins bien… La science n'éclaire qu'en partie les causes de cette dégradation, mais une méta-analyse parue en 2017 dans la revue *The Lancet* affirmait que 35 % des cas de démences pourraient d'ores et déjà être « *théoriquement évités* ». Pour cela, plusieurs facteurs de risque peuvent être prévenus : le tabac, l'alcool ou l'excès de graisses qui maltraitent les artères mais aussi certains troubles mal pris en charge comme les inflammations des gencives ou la perte auditive non appareillée.

Par Régis de Closets, avec Agence Forum News

2 Les virus peuvent-ils endommager notre cerveau ?

On l'ignore souvent, mais se protéger des virus en circulation, par la vaccination notamment, contribue à préserver ses capacités cognitives. Certains virus, baptisés neurotropes, ont en effet la capacité de s'infiltrer dans le cerveau. Le plus souvent ils n'y provoquent pas de dégâts mais ils peuvent être à l'origine de troubles fonctionnels épisodiques (de type encéphalites, AVC…) ou entraîner des lésions durables. On trouve parmi ces virus neurotropes ceux de la rougeole, de la varicelle, de la rage, de l'herpès et plus récemment… du Covid-19. « *8 à 13 % des patients hospitalisés lors des premières vagues ont présenté des syndromes neurologiques (hors céphalées et pertes d'odorat)*, confirme Thomas de Broucker, neurologue et coordinateur de l'Observatoire national des manifestations neurologiques du Covid-19. *Généralement, ces troubles s'atténuent après l'infection mais plusieurs centaines de patients présentent des dysfonctions neurologiques qui perdurent* (lire aussi p. 64). *Il s'agit essentiellement de troubles de l'attention ou de fatigue mentale qui peuvent être handicapants, d'autant qu'ils touchent des patients souvent entre 40 à 65 ans.* » Des troubles prolongés qui incitent plus que jamais à renforcer la protection vaccinale.

3 Quels sports aident à une bonne santé cérébrale ?

Depuis vingt ans, les études scientifiques étayent les bienfaits du sport sur notre cerveau. Une seule séance stimulerait deux heures durant nos facultés de concentration ou de mémorisation, selon une étude suédoise de l'université de Jönköping

85 milliards de neurones contenus dans le cerveau humain.

2 h 30 min de sport par semaine C'est le temps moyen recommandé par l'Académie américaine de neurologie pour prévenir les pertes cognitives.

10 fois plus d'oxygène pour les neurones C'est le volume supplémentaire d'énergie et consommé par un neurone par rapport à une autre cellule de l'organisme.

SOURCES : UNIVERSITÉ FÉDÉRALE DE RIO DE JANEIRO (2012), J.-M. BOURRE IN « LA CHRONO-DIÉTÉTIQUE »

Concepteur
et fabricant
FRANÇAIS

Douches Kinedo

présente

Kinemagic

Pour éviter les chutes dans la salle de bain,

remplacez votre baignoire par une douche luxueuse et sécurisée.

100% sécurisé

Pose en 48h sans gros travaux

Devis gratuit

VU À LA TV

Fabrication française

PLUS D'INFORMATIONS

par téléphone
0 800 05 06 07 Service & appel gratuits

par internet
www.kinemagic.fr

par courrier
en retournant la demande de devis personnalisé et gratuit
Coupon à envoyer à :
AQUAPRODUCTION
LIBRE RÉPONSE 51045
44680 SAINTE PAZANNE

❑ Oui, je souhaite en savoir plus sur la douche Kinemagic et bénéficier d'un **DEVIS GRATUIT** sans engagement de ma part.

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

CP : ..... Ville : .....

Téléphone : .....

Email : .....

N'affranchissez pas ce courrier, nous vous offrons les frais postaux.

Kinemagic - Paris Match

ICM

L'AVIS DE L'EXPERT

PR YVES AGID MEMBRE FONDATEUR DE L'INSTITUT DU CERVEAU (PARIS)*

« 10 % des diagnostics d'Alzheimer sont erronés »

Faut-il s'inquiéter des pertes cognitives qui peuvent survenir avec l'âge ?
Avoir des difficultés à retenir certains noms ou confondre des dates n'a rien d'affolant à partir d'un certain âge. En moyenne, nos performances cognitives se réduisent de 25 % entre 40 et 75 ans. Mais en réalité, ce chiffre ne veut pas dire grand-chose car les situations diffèrent considérablement d'un individu à l'autre. On perd tous des capacités neuronales, mais elles changent du tout au tout en fonction de la zone du cerveau affectée. Il s'agit d'un « vieillissement par pièces détachées » qui fonctionne comme une loterie : certaines atteintes dans des zones bien protégées seront peu perceptibles alors que d'autres affecteront des fonctions clés, comme la mémoire ou le langage. Avec des effets visibles et parfois handicapants.

Comment différencier les signaux d'un vieillissement cérébral naturel d'un vieillissement pathologique de type Alzheimer ?
C'est toute la difficulté car les deux se ressemblent souvent. Le vieillissement naturel peut être plus ou moins rapide et prendre des formes variées et le vieillissement pathologique peut être relativement lent. 5 % des personnes en bonne santé mentale apparente seraient même victimes d'une maladie neurodégénérative débutante sans signes cliniques avant-coureurs.

Comment établir le bon diagnostic justement ?
Nous savons que 10 % des diagnostics d'Alzheimer sont erronés. Il faut être prudent pour un diagnostic définitif et appréhender la dégradation de l'état mental symptôme par symptôme. Outre la perte de mémoire, il existe des signes moins connus comme l'agressivité, la difficulté à trouver ses mots, à reconnaître des visages ou à effectuer certains gestes.
Le diagnostic doit être confirmé au bout de six mois pour s'assurer que les manifestations perdurent ou s'aggravent. ■
Propos recueillis par R. de C.

* Auteur de nombreux ouvrages dont *Je m'amuse à vieillir* (Odile Jacob, 2020)

parue en 2020. Sur le long terme, l'exercice physique régulier réduirait de 35 à 38 % le déclin cognitif, d'après une étude du *Journal of Internal Medicine*. *« Les bénéfices sont particulièrement significatifs pour les plus de 50 ans*, explique Olivier Dupuy, chercheur au laboratoire Move de l'université de Poitiers. *Au fil des ans, les vaisseaux se rigidifient et le cerveau s'irrigue plus difficilement. L'activité physique libère des substances qui stimulent l'entretien des vaisseaux et la fabrication de neurones, prévenant ainsi certains troubles comme les AVC. »* À noter : il n'y a pas de pratique type apportant un bénéfice neuronal. Si l'on a longtemps cru que seules les activités de « cardio » profitaient au cerveau, il est prouvé aujourd'hui que tous les sports ont des effets protecteurs — du tai-chi à la musculation ou la marche.

4 Quel régime pour garder un cerveau jeune ?

Alors qu'il ne représente que 2 % du poids total de notre corps, le cerveau consomme 20 % de l'énergie stockée. Il faut donc le nourrir — et bien ! Nos neurones sont particulièrement amateurs d'acides gras présents dans les huiles ou certains aliments d'origine animale. Mais attention à bien équilibrer les apports car nous avons tendance à avoir la main lourde sur les oméga-6 (présents dans les huiles de cuisson, viandes ou vinaigrettes) au détriment des oméga-3. Ce déséquilibre, délétère pour le cerveau, peut être compensé par des apports combinés d'oméga-3 d'origine animale et végétale : soit deux portions hebdomadaires de poissons gras ou de jaune d'œuf cru, une poignée de fruits secs et des huiles de type noix ou colza dans les assaisonnements. Fruits et légumes sont recommandés également pour les apports en vitamines (notamment B et E) et antioxydants utiles à la production des neurones.
En matière de prévention du déclin cognitif, le régime méditerranéen apparaît d'ailleurs comme le mieux adapté : il réduirait de 10 % les risques de démence, selon les résultats de l'étude des 3 cités (3C), copilotée par l'Inserm (conduite à Dijon, Montpellier et Bordeaux autour de l'alimentation et de la maladie d'Alzheimer).

5 Quels loisirs stimulent le plus nos neurones ?

L'un des principaux ennemis de notre santé cérébrale est… la routine ! Un cerveau qui ne s'éveille pas perd des connexions neuronales et diminue d'autant ses capacités de stockage et d'échange d'informations. Pour le stimuler à tout âge, les options ne manquent pas. En commençant par la méditation, dont les chercheurs suivent de près les effets sur le cerveau. Une étude de l'Inserm en 2017 a ainsi montré que plusieurs zones cérébrales dont le volume tend à diminuer avec l'âge (comme l'hippocampe ou le cortex préfrontal) sont consolidées chez les pratiquants réguliers. La lecture assidue est également un exercice profitable. Une étude américaine parue en 2014 dans la revue *Brain Connectivity* a confirmé qu'elle contribuait à régénérer significativement les connexions neuronales. Enfin, n'oubliez pas que le lien social reste le meilleur garant d'un cerveau jeune à tout âge ! ■

DU 14 AU 22 MAI 2022

PARIS ✈ REYKJAVIK
TROMSO ✈ PARIS

Jour	Escales	Arrivée	Départ
14/05	Paris / Reykjavik *(Islande)* ✈	Nuit à quai	
15/05	Reykjavik *(Islande)*	Appareillage 17h00	
16/05	Isafjordur *(Islande)*	08h30	18h00
17/05	Husavik *(Islande)* ⚓	08h30	17h30
18/05	Seydisfjordur *(Islande)*	08h00	12h00
19/05	En mer		
20/05	Rorvik *(Norvège)*	16h00	20h00
21/05	Leknes / Îles Lofoten *(Norvège)* ⚓	13h00	19h00
22/05	Tromso *(Norvège)* / Paris ✈	09h30	-

⚓ À l'ancre - Débarquement en chaloupe si les conditions météorologiques le permettent.

À partir de 2.390 €

par personne en **cabine intérieure, catégorie 2** occupée par **2 personnes.**

(vols internationaux inclus, **hors excursions optionnelles et pourboires facultatifs**)

Ce prix comprend :

- La croisière à bord du M/s Hamburg en pension complète du dîner du 1er jour au petit déjeuner du dernier jour, boissons aux repas incluses.
- Les vols (réguliers ou affrétés) Paris - Reykjavik et Tromso-Paris.
- La présence (* sauf raison de force majeure) pendant toute la croisière, et les conférences, des scientifiques invités par Sciences et Avenir.
- Des animations de qualité chaque soir variétés, soirée classique etc.).
- L'équipe d'encadrement Plein Cap.
- Les assurances assistance rapatriement.

ISLANDE, LE FEU, LA GLACE, LES HOMMES

CAROLE CHATELAIN
Directrice de la rédaction de *Sciences et Avenir - La Recherche*

RÊVE DE GLACE. Les noms, à eux seuls, font rêver : Isafjordur, Husavik, Osvor... Et même celui de la capitale, Reykjavik, qui sonne comme une stalactite de glace. Avec l'Islande, mot francisé de l'*Ísland* (terre de glace en islandais), surgissent des images de fjords, de baleines, de geysers. Le pays souffle d'emblée le froid, le chaud et l'envie d'en savoir plus. Cela tombe bien. A bord du Ms. Hamburg, aux côtés d'Yves Coppens, préhistorien-parrain des Croisières du Savoir, embarqueront trois connaisseurs des trésors que recèlent ces lieux. Les fameuses sagas islandaises, que décryptera la docteure en études nordiques Gaëlle Reneteaud. Mais aussi l'océan si froid et si riche en poissons et mammifères marins, sans secret pour Gilles Boeuf, ancien directeur du Museum et ami de Sciences et Avenir. Quant aux volcans sous la glace, le Pr Jacques-Marie Bardintzeff nous en dressera un portrait saisissant. Et nous n'oublierons pas la découverte au retour par la Norvège des îles Lofoten et du ravissant port de Rorvik. Vite, embarquons !

ILS SERONT AVEC VOUS PENDANT TOUTE LA CROISIÈRE *

YVES COPPENS

Paléontologue, spécialiste mondialement connu de l'évolution humaine, académicien et professeur au Collège de France. Il nous parlera du peuplement des îles que nous allons accoster, de la préhistoire aux moines irlandais et aux Vikings. Dernier ouvrage paru : « *Origines de l'Homme, origines d'un homme* ».

GAËLLE RENETEAUD

Docteur en Etudes Nordiques de l'Université Paris-Sorbonne, spécialiste de l'Islande. Elle nous dira ce que sont les *sagas* et leur place dans la culture islandaise et nous racontera le regard porté sur l'Islande dans la cartographie ancienne et les premiers récits de voyage. Dernier ouvrage paru : « *Le(s) Nord de Xavier Marmier* ».

GILLES BOEUF

Biologiste, spécialiste de la biodiversité marine et terrestre, professeur à Sorbonne-Université. il nous expliquera l'extraordinaire richesse du monde marin, ainsi que l'importance vitale pour l'humanité, mais aussi l'extrême fragilité, de la biodiversité. Dernier ouvrage paru : « *La biodiversité, de l'océan à la cité* ».

JACQUES-MARIE BARDINTZEFF

Volcanologue professeur à l'Université Paris-Sud Orsay. Il nous présentera les volcans d'Islande et leurs éruptions, les geysers et la géothermie, les paysages étonnants. Il nous expliquera comment des volcans prennent naissance au fond des océans puis émergent en îles. Dernier ouvrage paru : « *Volcanologue* ».

Avec

OLIVIER LASCAR

Rédacteur en chef du pôle digital de Sciences et Avenir

Pendant la croisière l'œil de Lascar restera ouvert, pertinent et... impertinent !

Une occasion exceptionnelle de larguer les amarres pour vivre neuf belles journées d'évasion entre ciel et terre. Des journées denses, rythmées par les nombreux plaisirs de la vie à bord, de passionnantes conférences et des rencontres avec des compagnons de voyage partageant les mêmes motivations et les mêmes curiosités.
Et bien sûr les excursions à la découverte de ces terres septentrionales aux somptueux paysages dont vous garderez un souvenir inoubliable !

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : **PLEIN CAP « Croisière du Savoir »**

CROISIÈRES PLEIN CAP : **251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET** - **info@plein-cap.com** - Tél. **04 93 20 21 20**

Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : croisiere-du-savoir.fr

IM006120053

Composer le petit déjeuner idéal

Ni café, ni croissants, mais des céréales complètes, du fromage et des fruits : voilà la recette pour éviter les fringales d'avant le déjeuner.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

Croissant, tartines beurrées, café serré… Le monde entier nous a longtemps envié le menu du premier repas de la journée, qui reste un rituel pour 87 % des actifs (1). Mais les habitudes évoluent et le premier confinement a été l'occasion pour un Français sur deux de prendre un petit déjeuner plus complet et équilibré (2). Selon le Plan national nutrition santé (PNNS), il devrait couvrir 20 à 25 % de l'apport journalier en énergie, soit 500 kilocalories (kcal) en moyenne pour un adulte. De quoi recharger ses batteries après un jeûne de plusieurs heures et éviter les fringales avant le déjeuner.

Pas de café au saut du lit

C'est ce que conseillent des chercheurs américains, après une mauvaise nuit de sommeil. Selon leurs travaux, boire au réveil un café fort suivi trente minutes après d'un petit déjeuner (remplacé dans l'étude par une boisson sucrée) ferait davantage grimper la glycémie : 8,61 mmol/l contre 7,92 mmol/l si on se contente de la boisson sucrée. Le taux d'insuline augmente concomitamment (respectivement 272 pmol/l contre 227 pmol/l) avant de diminuer. Les auteurs préconisent ainsi de boire son café après le petit déjeuner (3). En revanche, aucune raison de se priver d'un chocolat chaud, mais attention, beaucoup de poudres sont pauvres en cacao (moins de 20 %) et sucrées.

Des céréales complètes…

Les céréales complètes (sous forme notamment de pain complet, flocons d'orge, flocons d'avoine ou porridge) sont sources de fibres alimentaires (8,84 g/100 g dans les biscottes complètes contre 3,1 g/100 g pour les classiques) mais également de vitamines et de minéraux. La consommation de céréales complètes réduit le risque de diabète de type 2, de maladies cardio-vasculaires et de cancer colorectal (4). Grâce à leur indice glycémique bas (40 pour les flocons d'avoine contre 70 pour la baguette blanche et 85 pour le pain de mie), elles permettent de tenir facilement jusqu'au déjeuner. En revanche, on réserve les viennoiseries, caloriques et peu rassasiantes (210 kcal et 11 g de lipides pour un croissant au beurre ou un pain au chocolat), aux plaisirs gourmands du week-end.

75 %
des Français
consomment des croissants, la viennoiserie la plus vendue avant le pain au chocolat, la brioche et le pain aux raisins. 25 % en achètent au moins une fois par semaine.
(SOURCE : FÉDÉRATION DES ENTREPRISES DE BOULANGERIE.)

INDICE GLYCÉMIQUE (IG) Cette valeur permet de choisir parmi les aliments contenants des glucides ceux dont la consommation élève le moins le taux de sucre dans le sang. En dessous de 55 on parle d'IG bas et au-dessus de 70, d'IG élevé.

MARGARINE Émulsion d'eau et d'huiles végétales, telles que celles de colza, de tournesol ou de palme, en proportions variables. Elle est stabilisée par l'addition d'émulsifiants (lécithine de tournesol).

DOPAMINE Neuromédiateur qui permet la communication au sein du système nerveux et agit directement sur le comportement. Elle joue un rôle sur la motivation, la productivité et la concentration.

… plutôt que des pétales de blé et de riz

Sans surprise, les céréales industrielles sont souvent trop riches en sucres, avec en moyenne 4,7 g pour une portion de 30 g de pétales de blé et de riz, 7 g/30 g pour le muesli (mélange de flocons d'avoine, de graines et de fruits secs). Elles sont également insuffisamment pourvues en fibres (0,7 g/30 g en moyenne pour les corn flakes [flocons de maïs], 1,1 g/30 g pour les pétales) pour tenir jusqu'à la pause déjeuner (5). Attention aussi, pour les plus pressés, aux biscuits de petit déjeuner, assez caloriques et sucrés.

Un peu de beurre pour les vitamines

Longtemps pointé du doigt en raison de sa forte teneur en acides gras saturés (67 %), le beurre apporte des vitamines E, A et D. La première est antioxydante, la deuxième est essentielle à la vision, la dernière permet de fixer le calcium sur les os et de réguler le métabolisme musculaire. Une méta-analyse incluant 640 000 personnes âgées de 44 à 71 ans conclut à l'absence de lien entre le risque cardio-vasculaire et une consommation modérée de beurre, soit 14 g par jour (c'est-à-dire un peu plus qu'une portion de restaurant) (6). La margarine apporte moins de lipides (40 à 60 % au lieu de 82 % pour le beurre) mais elle contient des additifs (émulsifiants) et certaines renferment des acides gras trans (AGT) associés à une augmentation du risque cardio-vasculaire, de diabète et de cancers. On peut y ajouter miel ou gelée royale, riches en antioxydants, ou une confiture maison, moins sucrée que les industrielles. Quant aux pâtes à tartiner, préférer les artisanales.

Des protéines pour se rassasier

Choisir un petit déjeuner protéiné serait plus rassasiant qu'un repas glucidique, selon des travaux néerlandais. Chez les personnes ayant consommé un yaourt nature enrichi en protéines (58,1 % d'énergie et 14,1 % d'énergie en glucides), le taux de ghréline, une hormone qui augmente l'appétit, grimpait moins vite que chez le groupe ayant pris un petit déjeuner glucidique (un yaourt composé à 47,3 % d'énergie en sucres et 19,3 % d'énergie en protéines) (8). Ainsi, il vaut mieux privilégier les œufs, du jambon blanc ou un morceau de fromage aux viennoiseries. Par ailleurs les protéines animales contiennent de la tyrosine, un acide aminé précurseur de la dopamine. Ce neuromédiateur intervient dans la motivation et la concentration. Mais attention à ne pas abuser des charcuteries, sources d'acides gras saturés (16,2 g/100 g de salami) et de sel (2,25 g/100 g de bacon).

Un fruit entier à la place d'un jus pressé

Outre des vitamines et des minéraux, pomme, banane ou kiwi apportent des fibres contrairement aux fruits pressés, ces derniers étant aussi plus sucrés : un verre de 200 ml de jus d'orange 100 % pur jus pressé avec pulpe de Paquito affiche 17 g de sucres contre 7,6 g/100 g pour une orange entière. Selon des travaux menés sur 13 440 adultes, consommer plus de 35 cl de boissons sucrées par jour, y compris les jus de fruits naturels, serait associé à une augmentation de 24 % de la mortalité. Selon les auteurs, un adulte devrait limiter sa consommation à 23 cl par jour, soit un grand verre (9). ■

Sylvie Boistard @syboistard

VANESSA BEDJAÏ-HADDAD Nutritionniste à Paris

S'inspirer des pays nordiques

« Le petit déjeuner français composé de baguette, croissants, beurre, confiture et jus de fruits est l'un des plus sucrés. Il fait monter le taux de sucre dans le sang et provoque un pic d'insuline, responsable d'une envie de sucre en fin de matinée. On peut s'inspirer des pays nordiques comme la Finlande et la Suède où le petit déjeuner est principalement salé, composé de protéines (poisson, œufs, fromage), plus rassasiantes que les glucides et non insulino-dépendantes. Les matières grasses d'origine végétale sont aussi privilégiées, type avocat en tranches, graines (courge, lin) ou purée d'oléagineux, sources d'acides gras poly-insaturés. Leurs pains (noir, complet) apportent aussi beaucoup de fibres et se digèrent lentement. »

(1) Ifop, 2019.

(2) Opinion Way, 2020.

(3) Glucose control upon waking is unaffected by hourly sleep fragmentation during the night, but is impaired by morning caffeinated coffee, Smith H. et al, British *Journal of Nutrition*, 2020.

(4) Devrions-nous manger plus de céréales complètes ? Champ M., *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2018.

(5) Céréales du petit déjeuner, elles peinent à tenir leurs promesses, *60 Millions de consommateurs*, 2015.

(6) Is butter back ? A systematic review and meta-analysis of butter consumption and risk of cardiovascular disease, diabetes and total mortality, Pimpin L. et al., *Plos One*, 2016.

(7) Effect of a high-protein breakfast on the postprandial ghrelin response, Blom WA. et al, *Am J Clin Nutr.* 2006.

(8) Eating to stop: Tyrosine supplementation enhances inhibitory control but not response execution, Colzato L. et al, *Neuropsychologia.* 2014.

(9) Association of sugary beverage consumption with mortality risk in US adults, Collin L.J. et al, *JAMA Network Open*, 2019.

LA THÉRAPIE GÉNIQUE, un espoir dans la lutte contre les maladies rares ?

Grâce aux progrès de la thérapie génique, la lutte contre les maladies rares est entrée dans une nouvelle ère, riche d'innovations et porteuse d'espoirs. Engagé depuis plus de trente ans aux côtés de la communauté des Maladies Rares, Pfizer est très investi dans la recherche de solutions thérapeutiques innovantes au service des patients.

Au sein de l'Europe, la France fait figure de pays pionnier dans la lutte contre les maladies rares : depuis 2004, elle est à l'initiative de trois plans gouvernementaux qui lui sont dédiés. Toutefois, selon une enquête menée en 2021 par l'IFOP pour Pfizer, la moitié des personnes interrogées ignore encore ce que sont réellement les maladies rares.[1]

Qu'appelle-t-on une maladie rare ?

En Europe, une maladie est dite « rare » d'abord en raison de sa prévalence : elle affecte 1 personne sur 2 000[2] quand une maladie courante comme l'hypertension artérielle concernerait 1 adulte sur 3.[3] En France, les maladies rares sont le quotidien de 3 à 4 millions de personnes, atteintes par l'une des 7000 pathologies répertoriées à ce jour.[4] Un réel enjeu de santé publique pour ces pathologies qui, malgré des caractéristiques communes, sont dotées de spécificités propres à chaque maladie, mais aussi à chaque patient au sein d'une même maladie[5]. Si, du fait de leur médiatisation, la mucoviscidose et la myopathie de Duchenne sont les maladies rares les plus connues, la drépanocytose, la maladie de Ménière, la maladie de Charcot, le syndrome de Turner, l'hémophilie ou encore le syndrome de Marfan sont en France parmi les maladies rares les plus fréquentes.[5]

Quelles sont les caractéristiques communes des maladies rares ?

Les maladies rares sont, pour la plupart, des pathologies sévères, chroniques, à évolution progressive. Dans 80% des cas, elles sont d'origine génétique, qu'elles soient dues à la déficience d'un ou de plusieurs gènes. Pour l'heure, seules 5 % d'entre elles disposent d'un traitement approuvé.[6] Le quotidien des patients atteints de maladies rares, comme celui de leurs aidants, est bien souvent bouleversé : dans 50% des cas, ces pathologies s'accompagnent d'un déficit moteur, sensoriel ou intellectuel ; dans 9% des cas, elles peuvent entraîner une perte totale d'autonomie, jusqu'à engager le pronostic vital.[7]

MALADIES RARES, THÉRAPIE GÉNIQUE ET IDÉES REÇUES

• ***Les maladies rares concernent une minorité de personnes.***

FAUX. *Les maladies rares ne sont pas si rares qu'on le croit. Une même pathologie peut compter des milliers de malades, comme c'est le cas pour la sclérose latérale amyotrophique, sporadique ou d'origine génétique, plus communément appelée Maladie de Charcot, avec ses 6000 à 7000 patients en France.*[8]

• ***La thérapie génique sert le transhumanisme.***

FAUX. *La thérapie génique, et ses différentes stratégies, est à l'heure actuelle l'une des voies privilégiées dans le traitement des maladies rares. Et non une technologie destinée à manipuler ou à augmenter les potentialités humaines. Elle a pour but d'améliorer l'état de santé des patients souffrant d'une maladie rare, parfois de les soigner, dans tous les cas de favoriser une meilleure prise en charge globale et améliorer leur qualité de vie.* [9]

1. *Site internet de Pfizer, « Les français, les maladies rares et les thérapies géniques : 1 français sur 2 avoue ne pas savoir ce que sont les maladies rares » (consulté le 16/06/21)*
2. *Site internet de l'INSERM, « 300 millions de patients quand même : C'est quoi les maladies rares ? » (consulté le 16/06/21)*
3. *Bernard Lévy, INSERM, « Hypertension artérielle (HTA), une affection cardiovasculaire fréquente aux conséquences sévères » (consulté le 16/06/21)*
4. *Site internet de la Fondation Maladies Rares, « La définition des maladies rares » (consulté le 16/06/21)*
5. *Hopital.fr, « Maladies rares » (consulté le 16/06/21)*
6. *Site internet LEEM.org, « Thérapie génique : les traitements du futur ? (consulté le 16/06/21)*
7. *Direction générale de l'offre de soins (DGOS) Mission Maladies rares, Ministère des Solidarités et de la Santé, « Les maladies rares » (consulté le 16/06/21)*
8. *FILSLAN, Filière de Santé Maladie Rares, « Qu'est-ce qu'une maladie rare ? » (consulté le 16/06/21)*
9. *Site internet AFM Téléthon, « Biothérapies, la thérapie génique au service d'une révolution médicale » (consulté le 16/06/21)*

80% des maladies rares sont d'origine génétique.[1] Ainsi sont-elles un terrain de recherche privilégié pour la thérapie génique. Quelles sont les différentes stratégies empruntées par cette approche thérapeutique innovante ?

Le corps humain est constitué de milliards de cellules dotées chacune d'un noyau contenant un exemplaire de l'ensemble de notre information génétique. Réparti sur 23 paires de chromosomes constitués d'ADN porteurs de nos gènes (25 000 environ), ce code génétique est le plan détaillé du fonctionnement de notre organisme : ce sont nos gènes qui dictent leur fonction à chacune de nos cellules qui, pour remplir leur tâche, fabriquent les protéines essentielles à la vie.[2] Dans le cas d'une maladie rare d'origine génétique, un ou plusieurs gènes déficients peuvent entrainer l'absence d'une protéine ou sa production anormale. Les cellules ne peuvent plus alors fonctionner *« normalement »*. C'est là que la thérapie génique entre en jeu.

La thérapie génique appliquée aux maladies rares : comment ça fonctionne ?

La thérapie génique est une méthode thérapeutique qui subvient aux dysfonctionnements des cellules en leur apportant du matériel génétique. Depuis sa conception pour traiter des pathologies monogéniques, ses approches se sont diversifiées au cours de ces vingt dernières années.[3] Des approches qui reposent sur différentes stratégies correctives : importer la copie d'un gène fonctionnel dans une cellule cible, éliminer ou réparer un gène altéré directement dans la cellule, modifier l'ARN[4] pour obtenir une protéine fonctionnelle, ou encore détruire des cellules tumorales.[3] Dans le cas d'une thérapie génique par transfert de gène, on procède selon deux modes d'administration : soit on injecte le matériel génétique fonctionnel directement dans l'organisme, c'est la méthode in vivo ; soit on prélève les cellules du patient, auxquelles on apporte en laboratoire l'information manquante, avant de les ré-injecter dans l'organisme du malade : c'est la méthode ex-vivo.[5]

DES PARTENARIATS FÉCONDS

Investi depuis 30 ans dans le développement d'innovations thérapeutiques appliquées aux maladies rares, Pfizer mène des travaux de R&D qui s'appuient à la fois sur sa propre plateforme de recherche dédiée aux maladies rares et sur des collaborations externes. En s'associant à la recherche académique et clinique, mais aussi avec des associations de patients et d'autres sociétés de biotechnologie, le groupe pharmaceutique a noué des collaborations enrichissantes, aussi bien avec le public qu'avec le secteur privé.

Les vecteurs, les véhicules sur mesure du gène médicament

Les vecteurs sont des véhicules conçus sur mesure pour permettre au gène fonctionnel d'être acheminé jusqu'à la cellule du tissu cible. À l'heure actuelle, ce sont les vecteurs viraux qui sont utilisés en majorité dans les essais cliniques de thérapie génique. Pour mener à bien sa mission, l'ADN du virus est modifié afin de le rendre inoffensif : on utilise la capacité du virus à pénétrer les cellules[6] tout en l'empêchant de proliférer, en désactivant les séquences qui codent les protéines permettant sa réplication.[7]

1. *Direction générale de l'offre de soins (DGOS) Mission Maladies rares, Ministère des Solidarités et de la Santé, « Les maladies rares » (consulté le 16/06/21)*
2. *Agence de la biomédecine, « Les notions-clés de la génétique médicale » (accessible ici : ADN, chromosomes, gènes : notions-clés (genetique-medicale.fr), (consulté le 16/06/21)*
3. *INSERM en collaboration avec Anne Gally, « Thérapie génique, une recherche de longue haleine qui porte ses fruits » (consulté le 16/06/21)*
4. *Le Robert DICO EN LIGNE, « Définition ARN » : Acide nucléique essentiel dans le transport du message génétique et la synthèse des protéines (consulté le 16/06/21)*
5. *Arthrose.fr, « La thérapie génique dans l'arthrose » (consulté le 16/06/21)*
6. *Site internet LEEM.org, Les entreprises du médicament « Thérapie génique, les traitements du futurs » (consulté le 16/06/21)*
7. *Fédération pour la Recherche sur le Cerveau, « Les vecteurs viraux, une aide précieuse pour la recherche » (consulté le 16/06/21)*

La thérapie génique, champ expérimental en plein essor, enregistre des essais cliniques porteurs d'espoir.

Depuis 1989, sur les 2000 essais cliniques de thérapie génique, en cours ou aboutis, une trentaine d'entre eux sont réalisés en France, toutes pathologies confondues.[1] L'immense majorité de ces essais correspond à des études de phase I ou II, chargées d'évaluer la sécurité et l'efficacité des traitements testés. Les essais de phase III, qui permettent de statuer sur le rapport bénéfice/risque d'un nouveau traitement par rapport à un traitement de référence ou à un placebo, représentent moins de 4% des études cliniques.[1] Dans le domaine des maladies monogéniques, plusieurs essais cliniques en cours sont encourageants : ils concernent les déficits immunitaires, les maladies hématologiques comme l'hémophilie et la bêta-thalassémie, les pathologies de la rétine comme l'amaurose de Leber et les maladies neurodégénératives comme l'adrénoleucodystrophie.[2] Au début de l'année 2021, Pfizer Maladies Rares a annoncé le passage en phase 3 d'essais cliniques portant sur l'hémophilie A, l'hémophilie B et la myopathie de Duchenne, trois pathologies dues à des anomalies monogéniques.

De nouvelles pistes de thérapie génique pour lutter contre les cancers

Parmi les 2ooo essais cliniques de thérapie génique, 65% d'entre eux concernent le traitement de certains cancers, comme les cancers ORL.[1] Certains résultats sont déjà très encourageants.[1] Ils ont été obtenus selon les deux orientations de l'immunothérapie antitumorale : stimuler les réactions de défense normales du patient ou induire l'apoptose des cellules tumorale[3], ce qui permet l'élimination des lymphocytes en surnombre après réaction immunitaire.

La thérapie génique au service de l'optogénétique[4]

Il arrive que des études cliniques appliquées aux maladies rares servent de modèles pour imaginer de nouveaux traitements destinés à des maladies plus fréquentes. Ainsi, l'une des premières thérapies géniques concernant l'amaurose congénitale de Leber, a ouvert la voie pour le traitement de la DMLA (Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge)[5], première cause de malvoyance en France touchant 1 million de personnes.[6] En mai 2021, un malade atteint de rétinopathie pigmentaire, une maladie génétique dégénérative provoquant la destruction des cellules photoréceptrices de la rétine, a recouvré partiellement la vue grâce à une technique mariant thérapie génique et stimulation lumineuse.[7] Pour Serge Picaud, directeur de l'Institut de la Vision, *« le fait que la stimulation neuronale n'ait pas été réalisée avec des électrodes mais grâce à une protéine d'algue, l'opsine, est une révolution qui ouvre un nouveau champ des possibles sur le plan thérapeutique. »*

LE THINK TANK G&CTI, UN ENGAGEMENT À LA FOIS INSTITUTIONNEL ET CITOYEN

Régi par la loi 1901 des associations, espace de réflexion libre et indépendant, à but non lucratif et au service de l'intérêt général, le Think Tank Gene & Cell Therapy Institute s'articule autour de 5 collèges réunissant en France et à l'étranger des représentants du monde scientifique, des patients, des acteurs émergents de la société civile et des industriels.[8] Le groupe Pfizer, qui est l'un des membres bienfaiteurs du G&CTi, œuvre plus spécifiquement au sein du collège des Industriels. L'objectif du G&CTi ? Nourrir le dialogue autour des problématiques attachées aux thérapies géniques et cellulaires pour soutenir collectivement une vision à long terme et démocratiser l'accès des patients aux innovations de rupture.

1. *INSERM en collaboration avec Anne Gally, « Thérapie génique, une recherche de longue haleine qui porte ses fruits » (consulté le 16/06/21)*
2. *Louvain médical, Revue de la Faculté de Médecine et Médecine dentaire de l'Université catholique de Louvain « Thérapie génique en 2017 : état des lieux et perspectives » (consulté le 16/06/21)*
3. *Gustave Roussy. (2017). Immunothérapie, collection « les explorateurs » (consulté le 16/06/21)*
4. *CNRS Le journal, « Aux frontières du cerveau » (consulté le 16/06/21)*
5. *AFM Téléthon, Communiqué de presse « Amaurose congéni¬tale de Leber, démarrage d'un essai de thérapie génique chez l'homme pour une maladie rare de la vue » (accessible : afm-telethon.fr/sites/default/files/111102_communique_presse_amaurose.pdf), (consulté le 16/06/21)*
6. *Site internet des Journées nationales de la Macula, « Chiffres clés de la DMLA » (consulté le 16/06/21)*
7. *Sahel, J. A., Boulanger-Scemama, E. et al (2021). Partial recovery of visual function in a blind patient after optogenetic therapy. Nature Medicine. Published. (consulté le 16/06/21)*
8. *Think Tank Gene & Cell Therapy Institute - G&CTI, « Construisons une réponse commune aux enjeux de thérapies géniques et cellulaires » (consulté le 16/06/21)*

Comme toutes les révolutions scientifiques en marche, la thérapie génique, avec ses avancées, suscite de nombreux espoirs. Toutefois, son déploiement, son efficacité et sa pérennité sont au prix de nombreux défis à relever.

La thérapie génique, comme tout axe de recherche qui place l'humain en son centre, hybride de nombreux champs d'activité. En plus du champ scientifique, elle engage des acteurs hétérogènes et complémentaires, dans les champs industriel, économique et éthique. La révolution scientifique promise par les thérapies géniques en appelle d'autres, qui engagent la société toute entière, pour que souffrir d'une maladie rare ne soit bientôt plus une fatalité.

Des défis sur le plan médical

Malgré les succès cliniques de la thérapie génique dans le traitement de maladies rares, les chercheurs demeurent encore prudents quant à ses effets à long terme. La gestion de la réponse immunitaire, qui peut décider de l'éligibilité de certains patients à recevoir ce traitement, est un enjeu de taille : le développement de nouveaux vecteurs pourrait permettre de contourner la réponse immunitaire, notamment grâce au recours à des vecteurs non viraux.[1]

Des défis sur le plan industriel

De nombreux obstacles réglementaires et industriels inhérents à la bioproduction de produits comme les virus ou les vecteurs sont à résoudre pour parvenir à développer de nouveaux médicaments de thérapie génique innovants. Pour l'heure, ils sont 8 sur le marché, 40 d'ici 2023, selon la FDA (Food and Drug Administration, agence américaine du médicament).[2] Si la France veut assurer leur production à un prix maîtrisé et accessible, elle doit se doter d'une filière qui lui permette de passer des essais cliniques à celle de traitements à grande échelle.

Des défis sur le plan économique

Au sortir de la Seconde Guerre mondiale, l'égalité de l'accès aux soins est l'une des valeurs cardinales sur lesquelles s'est fondée l'Assurance maladie.[3] Dans le cadre des maladies rares, dépourvues pour la plupart de traitements, les médicaments de thérapie génique sont encore très onéreux. L'enjeu de ces prochaines années consiste à permettre un accès équitable aux thérapies géniques, pour l'heure très coûteuses.[1]

LES ENJEUX ÉTHIQUES DE LA THÉRAPIE GÉNIQUE

Pour Hervé Chneiweiss, président du comité d'éthique de l'Inserm et du comité international de bioéthique de l'UNESCO, « les avancées de la thérapie génique sont une raison d'espérer pour beaucoup de patients souffrant de maladies rares. Pour autant, il ne faut pas céder à l'idéologie de la promesse, qui consisterait à faire miroiter des espoirs de guérison que l'on ne pourrait pas exaucer. D'autre part, ces traitements sont pour l'heure très onéreux . Il ne faudrait pas qu'il se passe avec les thérapies géniques ce qu'il se passe avec les traitements innovants, apanage pour l'heure des pays développés. »

1. INSERM en collaboration avec Anne Gally, « Thérapie génique, une recherche de longue haleine qui porte ses fruits » (consulté le 16/06/21)
2. France Assos Santé, « Thérapie génique : un défi tech¬nique, économique et politique » (consulté le 16/06/21)
3. Site internet de l'Assurance maladie, « Nos valeurs » (consulté le 16/06/21)

PP-RDP-FRA-0128

CODICOLOGUE Spécialiste qui étudie les matériaux ayant servi à la confection des manuscrits anciens.

FEUILLET Il correspond à la moitié d'une feuille de papier ou de parchemin pliée sur elle-même (ce qu'on appelle un bifeuillet).

CODEX C'est un livre manuscrit formé de feuilles pliées en deux et assemblées en un ou plusieurs cahiers cousus par un fil le long de la pliure.

Dans les secrets d'un manuscrit franciscain

Six années ont été nécessaires à un groupe international de chercheurs pour analyser ce manuscrit exceptionnel du XIIIe siècle contenant un récit inédit de la vie de saint François d'Assise écrit quelques années à peine après sa mort.

Par Vincent Glavieux @vglavieux

Tout commence par un courriel. Septembre 2014, l'historien français Jacques Dalarun, spécialiste de saint François d'Assise (1181-1226) et de sa doctrine religieuse, le franciscanisme, reçoit un message de la part de son collègue américain, Sean Field. *« Il contient un lien vers le site Internet de marchands américains de manuscrits anciens, la galerie Les Enluminures*, se remémore Jacques Dalarun. *La directrice Sandra Hindman, une codicologue de l'université de Chicago, met en vente un manuscrit ; celui-ci est accompagné d'une très bonne description rédigée par une excellente savante, Laura Light.* » Un passage dans la notice interpelle l'historien : *« Laura Light s'y demande si le manuscrit ne contiendrait pas un texte exceptionnel : une* Vie, *c'est-à-dire une biographie, inconnue, de saint François d'Assise, écrite dans les années suivant sa mort.* » Soit l'un des plus anciens récits de l'existence de François, parmi les dizaines écrits à l'époque médiévale, et alors que ces premiers textes sont censés avoir été détruits à la suite d'un décret de 1266 imposant une nouvelle version officielle de la vie du saint italien (celle de saint Bonaventure, datant de 1263).

LA CARTE D'IDENTITÉ DU MANUSCRIT

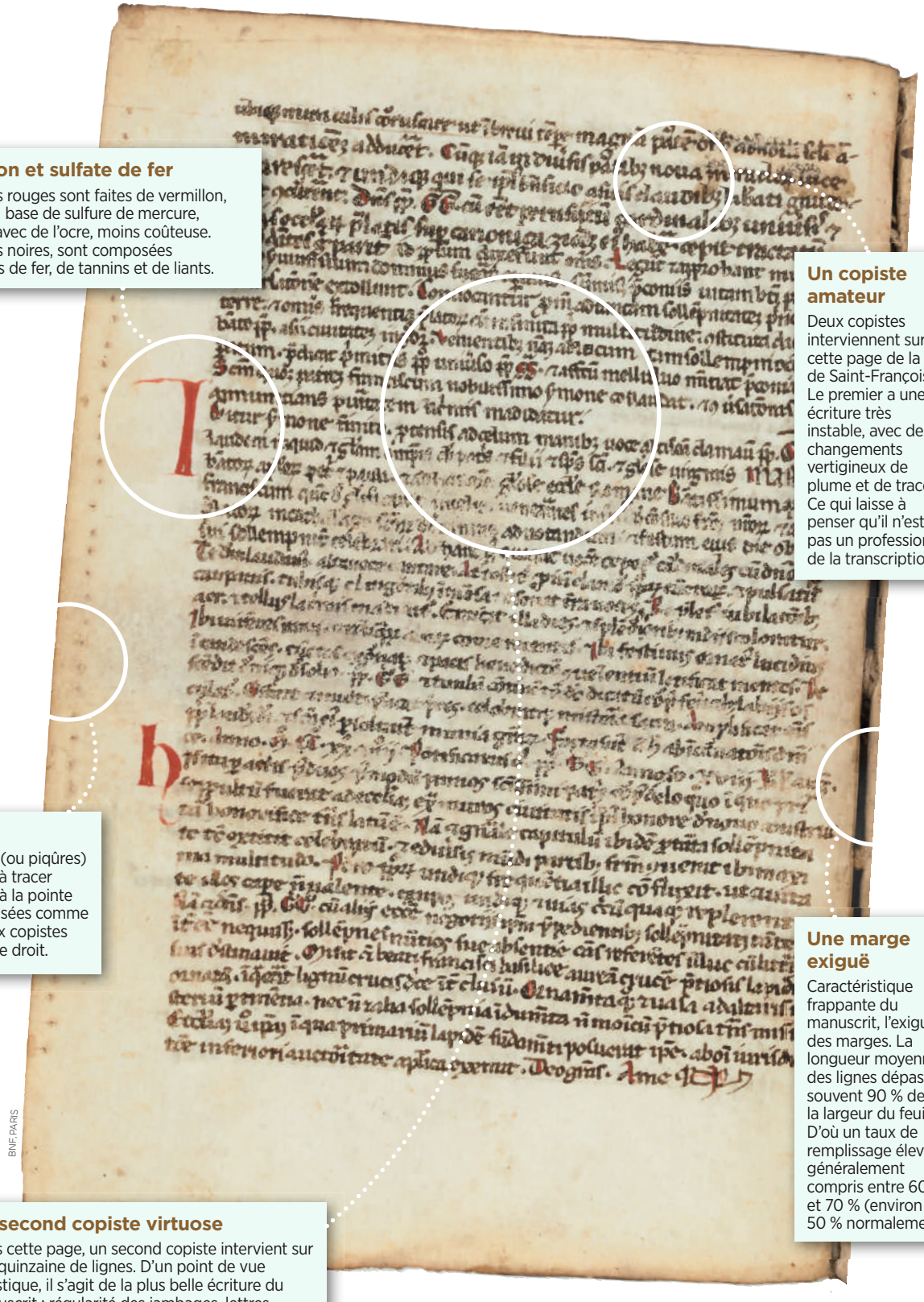
- **Dimensions :** 12 cm de haut, 8 centimètres de large.
- **Matériaux :** peau de chèvre (parchemin), lin (ficelle de reliure), sulfates de fer, tannins et liant (encres noires), vermillon parfois mélangé avec de l'ocre (encres rouges).
- **Copistes :** 12.
- **Nombre de feuillets :** 122.
- **Années d'écriture (hypothèse) :** entre 1232 et 1239.

Le premier hagiographe de saint François

Ni une ni deux, le spécialiste se lance dans la lecture du prologue de ce texte disponible sur le site de la galerie. *« Dès les premières lignes, la confirmation tombe. L'auteur est Thomas de Celano, premier hagiographe de saint François, et il écrit à frère Élie, un des premiers successeurs du fondateur à la tête de l'ordre franciscain, les Frères mineurs (1232-1239), en ces termes : "Tu es ministre général et, sur ta commande, j'écris cette nouvelle* Vie *de François, qui est la version abrégée de ma Vie précédente"*, explique Jacques Dalarun. *Vous imaginez mon bonheur !* »

L'historien traduit immédiatement le texte du latin vers le français. Son travail rencontre beaucoup d'écho. Et pour cause : cela faisait plus d'une centaine d'années que l'on n'avait pas fait une découverte textuelle de cette ampleur sur saint François ! Mais après avoir parcouru le manuscrit complet, Jacques Dalarun comprend que son intérêt va bien au-delà du texte consacré à la vie du religieux, qui ne représente qu'un huitième du document de 122 feuillets. *« Il fallait faire en sorte que le manuscrit reste librement accessible à tous,* raconte l'historien. *J'ai donc alerté Isabelle Le Masne de Chermont, directrice du département des manuscrits à la Bibliothèque nationale de France.* » Son plaidoyer fait mouche. La BNF fait une offre d'achat, qui est acceptée. Le codex intègre les collections de la prestigieuse bibliothèque au début de l'année 2015. Dans les mois qui suivent, il est numérisé et mis à disposition de tous sur Gallica, la bibliothèque numérique de la BNF.

En parallèle, le travail de recherche se met en marche. Jacques Dalarun réunit autour



BNF.PARIS

Vermillon et sulfate de fer

Les encres rouges sont faites de vermillon, pigment à base de sulfure de mercure, mélangé avec de l'ocre, moins coûteuse. Les encres noires, sont composées de sulfates de fer, de tannins et de liants.

Un copiste amateur

Deux copistes interviennent sur cette page de la *Vie* de Saint-François. Le premier a une écriture très instable, avec des changements vertigineux de plume et de tracé. Ce qui laisse à penser qu'il n'est pas un professionnel de la transcription.

Trous

Ces trous (ou piqûres) servaient à tracer les lignes à la pointe sèche utilisées comme repère aux copistes pour écrire droit.

Une marge exiguë

Caractéristique frappante du manuscrit, l'exiguïté des marges. La longueur moyenne des lignes dépasse souvent 90 % de la largeur du feuillet. D'où un taux de remplissage élevé, généralement compris entre 60 % et 70 % (environ 50 % normalement).

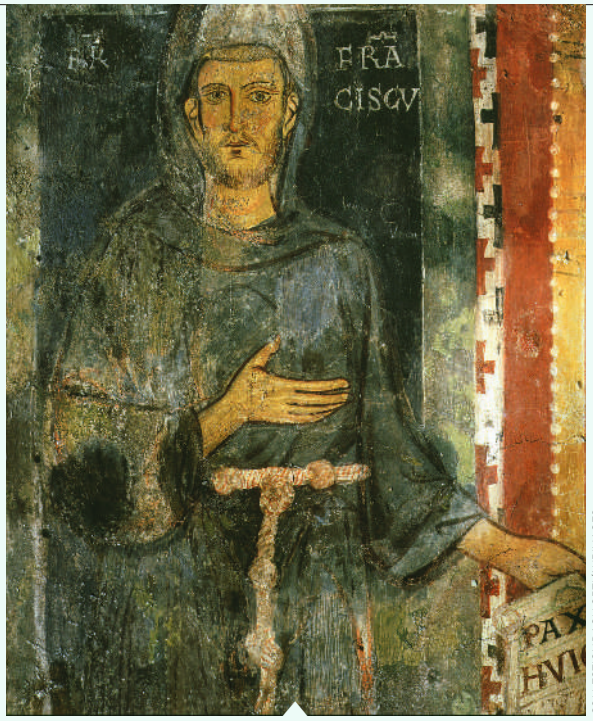
Un second copiste virtuose

Dans cette page, un second copiste intervient sur une quinzaine de lignes. D'un point de vue stylistique, il s'agit de la plus belle écriture du manuscrit : régularité des jambages, lettres hautes et étroites, nette séparation des mots, etc.

BIOGRAPHIE

Qui était saint François ?

François, né à Assise (Italie) probablement en 1181, est le fils d'un riche marchand. Après une jeunesse tumultueuse (fête, guerre, prison, maladie), il est « touché par la grâce divine » vers 1206 et se convertit à une vie simple parmi les marginalisés. Une petite communauté le rejoint rapidement, avec laquelle il expérimente une nouvelle façon de prêcher et de témoigner de sa foi : vœu de pauvreté, refus des possessions et du pouvoir, itinérance, travail manuel et aumône pour vivre…
Le succès est tel que, vers 1220, la confrérie compte entre 3000 et 5000 membres en Italie. François accepte alors la constitution d'un ordre religieux, les Frères mineurs, dont il abandonne peu après la direction mais qui devient vite le plus important de la chrétienté. Il meurt en 1226, en laissant une trentaine d'écrits (lettres, admonitions, prières et cantiques, dont le plus célèbre, le *Cantique des créatures*). Il est canonisé dès 1228.



COLLECTION DAGLI ORTI/AURIMAGES

Saint François, peint sans auréole sur une fresque de l'abbaye Sainte-Scholastique (Italie), sans doute avant sa canonisation (1228).

de lui des gens de son laboratoire du CNRS, de l'Institut de recherche et d'histoire des textes, de la BNF. Cette « communauté du manuscrit », d'une dizaine de membres, regroupe des physiciens, des chimistes, des paléographes (spécialistes des écritures anciennes), des codicologues, etc. L'idée est que chacun, dans sa spécialité, apporte son regard sur le document, en croisant les doigts pour que les analyses se complètent et se confortent, et que l'on puisse, grâce à ce travail collectif, replacer le manuscrit dans son contexte. Pendant près de six ans, au cours desquels d'autres spécialistes du monde entier se joignent à l'aventure, l'équipe regarde le livre sous toutes ses coutures, transcrit le plus grand nombre possible de textes… Le fruit de ses recherches est rassemblé dans un livre, *Le Manuscrit franciscain retrouvé*, publié ce 26 août 2021 chez CNRS éditions.

L'une des premières choses qui saute aux yeux des chercheurs, c'est la modestie du manuscrit. Il s'agit d'un petit format (12 centimètres de haut, 8 de large), qui ne possède ni couverture ni enluminures, et dont les pages sont noircies de texte sur le moindre centimètre carré. *« Ce manuscrit est moche et illisible ! »*, résume Jacques Dalarun. L'analyse des matériaux, effectuée avec des techniques aussi peu invasives que possible, confirme cette première impression de simplicité. La ficelle de couture est *« fort probablement »* composée de fibres de lin, ce qui est courant dans l'Occident médiéval, en particulier pour des ouvrages modestes. Les encres rouges sont à base de vermillon, quelquefois mélangées à un peu d'ocre, matériau moins coûteux. Quant au parchemin, il a été réalisé à partir de « bas morceaux » de peaux de chèvre, normalement destinés au rebut — ce qui explique les nombreux creux et échancrures — et certaines pages ont été réemployées — un témoignage de la difficulté à se procurer le matériau nécessaire à la rédaction.
L'analyse des parchemins donne aussi une indication concernant la région de fabrication du codex. *« Il est admis que la peau de chèvre est très utilisée en Europe méridionale au Moyen Âge,* commente Aman-

JACQUES DALARUN

« Toutes les analyses convergent pour désigner l'Italie centrale comme l'origine du codex »

Jacques Dalarun, historien médiéviste, membre de l'Académie des incriptions et belles-lettres, spécialiste de saint François d'Assise

dine Postec, à l'époque au service médiéval du département des manuscrits de la BNF. *Mais c'est la réunion des conclusions des différents experts — et notamment le travail des paléographes et des codicologues — qui a permis d'affiner cette localisation.* » « *Toutes convergent pour désigner l'Italie centrale* », précise Jacques Dalarun.

La datation confirme la valeur historique

Une datation au carbone 14 complète ces analyses matérielles. Elle confirme que le manuscrit date bien du XIIIe siècle (entre 1230 et 1270). Là encore, l'étude des textes se révèle décisive pour préciser les dates. « *Le manuscrit mentionne par exemple le fait qu'Antoine de Padoue, autre grande figure du franciscanisme, est déjà canonisé*, explique Jacques Dalarun. *On est donc après 1232. Et à mon avis, on ne peut guère être après la fin du gouvernement de frère Élie car, lorsque celui-ci est démis de sa charge en 1239, il est excommunié, et on cesse de se référer à lui et à l'ensemble de l'ordre.* »
Cette datation renforce la valeur historique du manuscrit. « *Nous sommes quelques années seulement après la mort de saint François*, reprend Jacques Dalarun. *Or c'est une période très, très peu documentée de l'histoire du franciscanisme.* » Le codex est d'autant plus précieux qu'il contient des informations inédites. On découvre par exemple que saint Antoine de Padoue n'hésite pas à citer saint François dans ses sermons. « *Cette anecdote remet en question l'idée, défendue par tous les spécialistes du franciscanisme jusque-là, selon laquelle les deux grandes figures du mouvement étaient en rivalité* », indique l'historien. On apprend aussi, dans la

BNF PARIS

122 feuillets d'un parchemin fait de « bas morceaux » de peau de chèvre, cousus avec un fil probablement en lin, forment le codex.

ALEXANDRE TUR/ BNF PARIS

De petit format, 12 cm x 8 cm, le livre, d'aspect modeste, ne comprend ni couverture ni enluminures. Ses pages sont largement noircies de texte, ce qui les rend peu lisibles.

Vie, que saint François ne réparait pas les trous de sa tunique avec du fil ou un de l'étoffe, mais avec des feuilles de plantes ou des bouts d'écorce. « *Il faisait cela à la manière des vrais pauvres*, explicite Jacques Dalarun. *Pour un mouvement qui a fait de la pauvreté un idéal, vous voyez ce que cette description inédite implique. Elle montre tout son engagement social dans l'application du message évangélique.* »
Le manuscrit renferme par ailleurs un certain nombre de textes originaux ou anonymes — des sermons de saint Antoine de Padoue, un autre sur la purification de la Vierge, etc. — qu'il n'a pas été facile d'identifier. « *Pour la plupart des textes, il n'y a rien : pas de titre, pas d'auteur…*, confirme Nicole Bériou, historienne médiéviste à l'université Lyon-II et à l'École pratique des hautes études. *De manière générale, le manuscrit ne semble pas respecter d'ordre précis, c'est un écheveau où se mélangent des textes intégraux — huit en tout, dont la* Vie *de saint François et la règle qui régit le fonctionnement de l'ordre franciscain —, de longs extraits ou abréviations d'œuvres — une dizaine — et des compilations de fragments.* »

Douze mains ont travaillé à l'écriture du codex

Derrière ce chaos textuel se dégage tout de même une cohérence. « *Le paléographe Denis Muzerelle a identifié 12 mains ayant participé à l'écriture du codex, la plupart du temps en alternance par groupe de deux*, reprend Nicole Bériou. *Cela laisse entendre que nous sommes en présence d'une communauté qui partage le manuscrit.* » « *Les changements de main, mais aussi de cahiers et de couleur d'encre, la succession de textes entiers, de fragments, de florilèges de citations, de prises de notes… Tout à coup, cela prend sens*, abonde Jacques Dalarun. *L'hypothèse que je propose, c'est qu'on a affaire à un groupe de frères franciscains de la première génération, quelques années après la mort de François. Ils ne se sont pas encore stabilisés dans des couvents, ils sont itinérants. De temps en temps, certains partent en mission avec un bout du livre, avant qu'il ne soit définitivement relié, et copient des textes ou prennent en note des sermons qui pourraient leur être utile pour leur tâche de prédication.* » ■

POUR EN SAVOIR PLUS

▸ **« Le Manuscrit franciscain retrouvé »,** Jacques Dalarun, Nicole Bériou et Dominique Poirel (dir.), CNRS éditions, 386 p., 39 €

DMITRY KOSTYUKOV/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

Un nouveau coffre-fort abrite les réserves du Louvre

C'est un lieu inaccessible au public où « Sciences et Avenir » a eu le privilège de pénétrer en avant-première à Liévin (Pas-de-Calais) : un bâtiment destiné à stocker la plupart des réserves du musée parisien menacées par les débordements de la Seine.

Une véritable « arche de Noé » du patrimoine ! Sur fond de lumière naturelle que filtre une impressionnante façade de verre, deux immenses tapis colorés sont déroulés au sol. En combinaison blanche, agenouillée, une restauratrice en ôte délicatement la poussière à l'aide d'une petite brosse, tandis qu'une conservatrice contrôle d'éventuels points de rupture des fils de trame ou de chaîne. Pas question ici de réhabiliter ces pièces du XVIe siècle qui appartiennent aux collections nationales. Il s'agit pour l'heure d'en faire le « constat d'état » et de procéder à d'éventuelles consolidations d'urgence avant de les préparer méticuleusement à être

STÉPHANE DUBROMEL/ HANSLUCAS

DMITRY KOSTYUKOV/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

Des toiles de grand format, telle cette œuvre du peintre Giulio Romano, qui n'avaient pas été déroulées depuis longtemps, sont désormais conservées sur des châssis roulants.

Les pièces en pierre sont soumises à un nettoyage par microsablage (en haut, à droite).

Les salles de stockage ultramodernes permettent un rangement aisé des œuvres dotées chacune d'un code-barres pour faciliter leur traçabilité (en bas, à droite).

stockées dans les réserves du vaisseau de verre et de béton que constituent les nouvelles réserves du Centre de conservation du Louvre, à Liévin (Pas-de-Calais). Situé à quelques encablures du musée du Louvre-Lens, avec lequel il constitue un important pôle de développement régional, le « Louvre-Liévin » est accessible en dix minutes de marche le long d'une « coulée verte ». L'impressionnant bâtiment de plain-pied aux allures de cathédrale a été réalisé par le cabinet d'architectes britannique Rogers Stirk Harbour + Partners. Il s'étend sur 18 500 m² avec des voûtes culminant à 10 m, et réserve 9 600 m² de surface au stockage des œuvres. Une opération dont le budget global s'élève à 60 millions d'euros. Divisé sur toute sa longueur par un gigantesque couloir nommé « le boulevard des œuvres », le Louvre-Liévin aligne 1300 m² d'ateliers dans la partie ouest, auxquels répondent à l'est, les immenses réserves. Des salles de stockage ultramodernes, dans lesquelles seront conservées à terme, à une température constante à 20 °C, jusqu'à 250 000 œuvres issues des 68 réserves du Louvre. Celles situées au sein du célèbre musée parisien mais aussi à Versailles (Yvelines), Écouen (Val-d'Oise) et Châlons-en-Champagne (Marne) et d'autres, aux adresses plus discrètes. La décision d'évacuer les réserves installées en bordure de Seine est née du risque de les voir inondées par des crues dites centennales, la dernière remontant à 1910. Le délai d'évacuation fixé par le plan de protection contre les risques d'inondations (PPCI) — moins de 72 heures — avait alors été jugé insuffisant pour pouvoir mettre les collections à l'abri. En 2012, la décision a donc été prise de trouver refuge à Liévin.

Une noria de semi-remorques banalisés

« Nous avons jusqu'à présent accueilli près de 150 000 œuvres et la totalité des transferts devrait s'achever en 2025 », explique Marie-Lys Marguerite, la nouvelle directrice des lieux, conservatrice du patrimoine en poste depuis mai. Chaque semaine en effet, une noria de semi-remorques banalisés transporte les œuvres depuis Paris. Pour des raisons de sécurité, le nom des transporteurs demeure confidentiel. Dès leur arrivée, les chauffeurs sont attendus par des responsables de la sécurité qui vérifient le contenu des caisses avant que celles-ci n'entrent dans le ballet des contrôles et traitements qui précède le conditionnement puis le transfert dans les réserves.

Les objets en bois (mobilier, cadres, sarcophages, etc.) sont ainsi immédiatement dirigés vers des cabines d'anoxie (sans oxygène) pour une désinsectisation en règle afin d'éliminer tous les parasites xylophages. Les pièces en pierre (statues, chapiteaux, etc.) sont, elles, soumises à un *« peeling »*, microsablage léger permettant un nettoyage parfait. Un traitement auquel sont également soumis les vestiges

archéologiques en céramique examinés par des spécialistes des arts du feu, à l'instar de ceux traités en ce mois de juillet dernier par Sandrine Gamay, l'une des prestataires auxquels fait appel le Louvre-Liévin. *« La plupart des restaurateurs et conservateurs interviennent ici à la suite d'appels d'offres »*, explique la spécialiste qui s'apprête à examiner une série de poteries. Une fois consolidées, celles-ci rejoindront le secteur des réserves qui leur est attribué.

Plus loin, dans un autre atelier, Julien Cuny, conservateur au département des Antiquités orientales du Louvre, à Paris, devise avec un photographe venu l'aider à immortaliser un socle de colonne perse redécouvert à la faveur du transfert. Derrière de lourdes tentures noires, les faisceaux de deux projecteurs se concentrent sur un quadrilatère de pierre. *« Il s'agit de la base d'une colonne trouvée en 1851 lors des premières fouilles archéologiques menées en Iran. Elle comporte une inscription cunéiforme très importante ayant permis d'identifier le site de Suse et son palais principal »*, détaille Julien Cuny. Elle est constituée d'un puzzle de blocs que les surfaces de travail des ateliers du Louvre-Liévin ont permis pour la première fois de déployer dans leur totalité. *« C'est une très belle trouvaille pour nous »*, se réjouit le jeune conservateur. Une fois étudiés, les blocs rejoindront à leur tour les réserves lapidaires où s'alignent d'innombrables statues antiques, toutes emballées dans des caisses à claire-voie devant assurer leur conservation pendant des décennies.

Curiosité : une « stylothèque » rassemble des colonnes grecques et romaines en porphyre ou en marbre, longtemps conservées dans les fossés du Louvre en face de l'église Saint-Germain-l'Auxerrois, et aujourd'hui alignées comme des crayons sur leur support.

Dans la réserve des arts graphiques, les tableaux grand format fascinent également. À première vue, rien ne permet de distinguer les œuvres picturales sauf quand un conservateur tire l'une des grilles à roulettes sur lesquelles elles sont accrochées : la toile apparaît alors dans tout son éclat sous la lumière zénithale du lieu. *« Tous les objets sont dotés d'un code-barres pour faciliter leur traçabilité,* poursuit Marie-Lys Marguerite. *Des pièces non exposées que l'on peut d'ailleurs retrouver en partie parmi les 482 000 objets de la base de données mise en ligne sur le site du Louvre*. »* Comme les imposants tapis qui, une fois examinés, seront enveloppés dans une texture protectrice neutre (du coton décati) et déposés sous forme de cylindres sur de grandes étagères par des élévateurs motorisés. Certains portent encore le code « OAR », celui des objets d'art spoliés pendant la Seconde Guerre mondiale et pas encore restitués faute d'identification de leurs propriétaires.

STÉPHANE DUBROMEL / HANSLUCAS

Un technicien inspecte des figurines en terre cuite en attente de conditionnement. Les calages de chaque objet sont réalisés sur mesure.

Un lieu pour héberger des œuvres de pays en guerre

De retour dans le vaste atelier de 390 m² où sont effectués ces emballages, l'équipe de conservation poursuit l'examen de tapisseries à préserver. *« Notre chantier permettra l'étude complète de 99 œuvres textiles »*, précise Montaine Bongrand, restauratrice du patrimoine. *« Le Centre de conservation de Liévin, dédié à la protection des œuvres et au traitement des collections, est aussi un centre de recherche et d'étude »*, rappelle Marie-Lys Marguerite. Lieu de refuge, le Louvre-Liévin s'est aussi proposé d'héberger les œuvres de pays menacés ou touchés par les conflits. Une réserve muséale et un concept uniques en Europe par son volume et sa mission. ■ **Bernadette Arnaud**

@NaurudaaArnaud

* sciav.fr/895Louvre

EXTERNALISATION

D'autres musées français protègent leurs œuvres

Les réserves muséales dites externalisées — c'est-à-dire éloignées des établissements concernés — se font de plus en plus nombreuses, selon le *Journal des arts*. Après les musées de Nancy, Marseille ou Quimper, qui ont expédié une partie de leur fonds en périphérie de la ville, c'est au tour du Musée national d'Art moderne du Centre Georges-Pompidou à Paris d'envisager d'installer ses réserves à Massy (Essonne) à l'horizon 2025. Le musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac y pense aussi, étant situé comme le Louvre à proximité de la Seine et donc menacé par de possibles inondations. D'autres établissements comme ceux de Tours, Strasbourg et Dijon ont quant à eux opté pour la mutualisation.

Le dernier repas de l'homme de Tollund

Au cours de l'âge du fer, des hommes et des femmes ont été sacrifiés dans des marécages de l'Europe du Nord-Ouest. Une nouvelle étude revient sur l'examen de l'un des plus célèbres d'entre eux, l'homme de Tollund.

Yeux clos, barbe naissante, semblant plongé dans un profond sommeil, l'homme de Tollund est une des plus célèbres momies des tourbières. Ces corps d'hommes et de femmes sont extraits depuis le XVIIIe siècle des marais du nord-ouest de l'Europe, en particulier en Scandinavie et dans les îles Britanniques. Remontant à l'âge du fer (800 avant J.-C. - Ier siècle après J.-C.), ces dépouilles constituent de véritables trésors archéologiques. Grâce à la composition physique et biochimique de la tourbe — un combustible issu de la fossilisation des végétaux à faible teneur en oxygène —, ces vestiges humains ont été admirablement épargnés des ravages du temps. C'est le cas de l'homme de Tollund dégagé en 1950 d'une tourbière proche de Bjaedskovdal (Danemark), dont l'analyse du dernier repas vient d'être publiée dans la revue *Antiquity*.

CARLOS MUNOZ YAGUE/DIVERGENCE

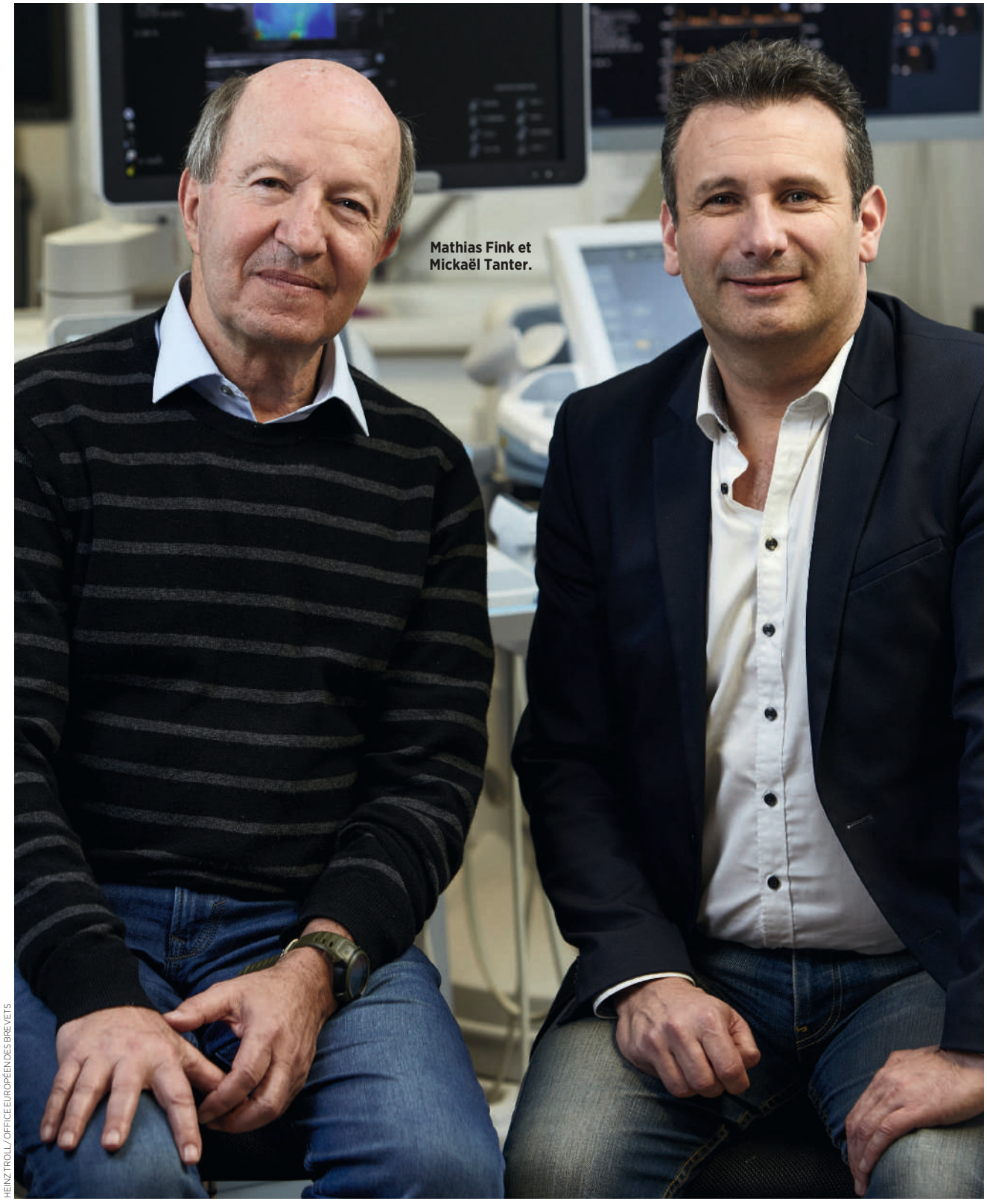
Vêtu d'un bonnet et d'un pagne de cuir, l'homme de Tollund est mort étranglé vers 380 avant J.-C. De récentes analyses ont révélé qu'il souffrait de parasitoses.

Une bouillie de céréales et des herbes sauvages

En réexaminant le contenu de ses intestins au microscope, les spécialistes du musée de Silkeborg ont établi que 12 à 24 heures avant sa mort, celui-ci avait consommé un brouet composé à 85 % d'orge et d'avoine avec 5 % de graines de lin, et des herbes sauvages de diverses espèces en faible quantité : de la caméline, de la renouée persicaire, mais aussi du liseron noir, de la spergule des champs, de l'ansérine blanche, du navet sauvage, de l'ortie royale et de la pensée des champs. « *Ce repas comprenait également du poisson, et la bouillie a été cuite dans une poterie en argile. De quoi presque imaginer, dans un incroyable instantané de vie, le moment où a été cuisinée cette préparation* », détaille Nina Helt Nielsen du muséum de Silkeborg. Ces travaux ont aussi établi que l'homme de Tollund souffrait de parasitoses, et qu'il était infesté par des nématodes, des ascaris et des trichocéphales (*Trichuris trichiura*), ainsi qu'un ténia, signalé ici pour la première fois dans un corps des tourbières, preuves de piètres conditions sanitaires.

L'homme de Tollund était vêtu d'un simple bonnet et d'une bande de cuir ceinte autour de la taille, mais la corde nouée autour du cou témoigne surtout de sa fin tragique. Mort entre 380 et 405 avant J.-C., il a été supplicié, comme la plupart des corps des tourbières. Au cours du premier âge du fer danois (500 avant J.-C.-200 après J.-C.), des hommes et des femmes ont en effet été sacrifiés ou exécutés dans des marécages, poignardés, égorgés, battus ou bien pendus. L'historien latin Tacite évoquait d'ailleurs, au début du Ier siècle de notre ère, des immolations par « *précipitation dans des marais* » au sein des tribus celtiques et germaniques « *où étaient exécutés les lâches, les fuyards et ceux qui manquaient d'ardeur au combat* ». ■ **Bernadette Arnaud**

@NarudaaArnaud



Mathias Fink et Mickaël Tanter.

HEINZ TROLL / OFFICE EUROPÉEN DES BREVETS

MATHIAS FINK ET MICKAËL TANTER
PHYSICIENS

Rencontre avec les pionniers de l'échographie ultrarapide

Mathias Fink et Mickaël Tanter ont développé un dispositif qui analyse la dureté des organes grâce à des ultrasons. L'enjeu : améliorer les diagnostics, notamment ceux de cancers. Les deux physiciens détaillent leur invention qui révolutionne l'imagerie médicale.

Avec les ultrasons, votre ambition est-elle de remplacer la main du médecin ?
Mickaël Tanter : Ces ondes permettent de pénétrer l'intérieur du corps : on arrive à voir en profondeur en les envoyant dans les tissus, sur lesquels ils se réverbèrent, revenant aux sondes échographiques. Mais à travers cette invention, avec Mathias Fink, nous avons aussi essayé de voir un autre invisible, celui de l'infiniment rapide. Faisons une analogie. Quand on tire au pistolet, la balle est imperceptible car les yeux ne peuvent voir à plus de 50 images par seconde : la balle se déplace sans que l'on ait pu capter une image. Notre approche permet de voir à l'intérieur du corps, mais aussi de le faire à des cadences très rapides — plusieurs milliers d'images par seconde. Il devient ainsi possible de remplacer la palpation du médecin. En effet, cette technique permet de voir les vibrations de notre corps, lesquelles nous renseignent sur la dureté des organes. Or lorsque le médecin palpe un organe, il essaie de « voir » de manière intuitive sa dureté. Notre dispositif lui permet de remplacer cette palpation par une cartographie de la dureté.

BIO EXPRESS

Mathias Fink est physicien, professeur, titulaire de la chaire Georges Charpak à l'ESPCI, Institut Langevin.

Mickaël Tanter est directeur du laboratoire physique pour la médecine Inserm CNRS à l'ESPCI.

LE TWITCH
Retrouvez l'intégralité de cet entretien diffusé sur le réseau social Twitch sur : **sciav.fr/895Ultrasons**

Pourquoi la mesure de ce paramètre est importante ?
M. T. : Dès qu'une maladie se déclare, nos tissus changent de structuration et leur rigidité se modifie. C'est pour cela qu'il est intéressant de disposer de cette carte en plus de l'échographie classique. Elle permet de bien meilleurs diagnostics, notamment en matière de cancers.

Est-ce que votre dispositif est plus coûteux que les échographes standards ?
Mathias Fink : Non, le prix est proche bien qu'il soit bâti sur un concept très différent. Il a déjà permis de faire des dizaines de millions d'examens. Tous les grands du secteur — Philips, General Electrics ou Siemens — sont en train de passer à ce mode d'examen. La première application que nous avons visée est la détection des cancers du sein.

M.T. : L'échographie coûte beaucoup moins cher que l'IRM ou le scanner — entre 60 000 et 100 000 euros contre 1 million d'euros. Surtout, notre invention permet d'éviter les faux négatifs (lorsque l'analyse ne détecte pas le cancer) et les faux positifs (lorsqu'elle conclut à tort à son existence). Dans les deux cas, elle permet de diminuer les coûts de l'examen comme les coûts humains liés à un diagnostic erroné.

Les examens par ultrasons ne sont-ils pas dangereux ?
M. F. : Notre imageur ultrarapide fait appel à une illumination du corps humain par ce qu'on appelle des « ondes planes », ce qui veut dire qu'il n'y a aucune concentration d'énergie dans le corps humain. On envoie plusieurs ondes planes, on écoute tout ce qui revient puis un algorithme recompose le tout comme si on focalisait dans le corps humain. Mais la focalisation se fait en réalité dans l'ordinateur, donc il n'y a pas de danger pour les patients.

Votre invention date des années 1990, mais à l'origine, Mathias Fink, vous travailliez sur la « focalisation des ondes par retournement temporel », de quoi s'agit-il ?
M. F. : La question qui m'intéressait était « peut-on faire une machine qui oblige une onde à revivre sa vie passée ? ». En travaillant sur les ultrasons, nous avons fabriqué des « miroirs à

retournement temporel ». Nous voulions faire se dérouler en sens inverse toute la vie de l'onde. La première application qui m'avait intéressée était la destruction précise des calculs dans le rein, en utilisant les ondes ultrasonores réfléchies par le calcul et qui, en mode retournement temporel, revenaient exactement vers lui avec une amplitude pouvant être multipliée par un million.

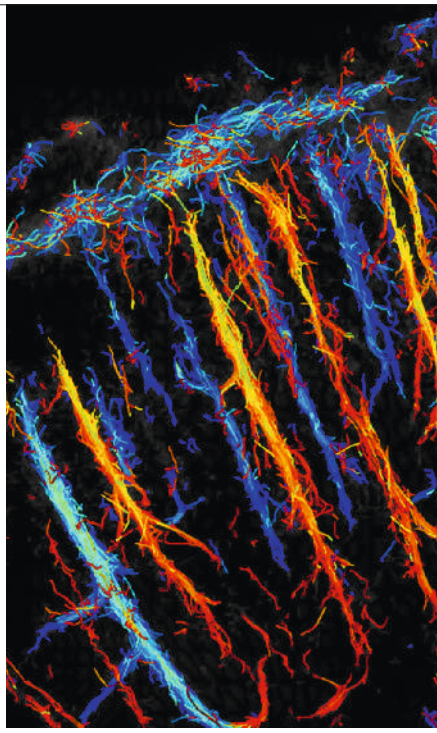
Un jour je me suis rendu compte que l'électronique développée pour cela pouvait aussi servir à autre chose : un imageur ultrarapide du corps humain. L'idée était d'envoyer un faisceau d'ultrasons dans le corps et d'écouter tous les échos pour les enregistrer dans des mémoires électroniques. À l'ordinateur d'effectuer les opérations de retournement temporel : tout le film se déroulerait dans l'ordinateur, qui refabriquerait l'ensemble des obstacles rencontrés par l'onde. Cette technique devait permettre de reconstituer l'image du milieu. On a ainsi inventé le concept de l'imageur par retournement temporel qui permet d'obtenir des images bien plus rapidement qu'un échographe standard. Avec Mickael Tanter, nous avons repris cette idée pour regarder des choses que personne ne regardait : les vibrations à l'intérieur du corps. D'un coup nous avons découvert qu'il était possible de faire des images nouvelles. C'est ainsi qu'en s'intéressant à la vie passée des ondes, nous sommes arrivés à l'imagerie de l'élasticité du corps humain.

H. TROLL/ OEB

« Il est possible de voir une tumeur en train de se former, qui est encore indétectable pour le médecin »
Mathias Fink

À cette époque, le calcul informatique n'a-t-il pas été un frein à votre découverte ?

M. T. : En effet, au début vers les années 1998-2000, lorsque nous enregistrions 0,5 s de film à cadence ultrarapide, il fallait environ une heure de calcul à l'algorithme pour fabriquer les images. Mais souvent on oublie que les concepts scientifiques arrivent avant la technologie, et c'est ce qui s'est passé pour nous. La puissance de calcul des ordinateurs a évolué de manière exponentielle : en 2005 il ne fallait plus que 7 s pour traiter les mêmes données, 0,2 s en 2009 et maintenant le calcul se fait en temps réel grâce aux cartes graphiques destinées aux jeux vidéo.



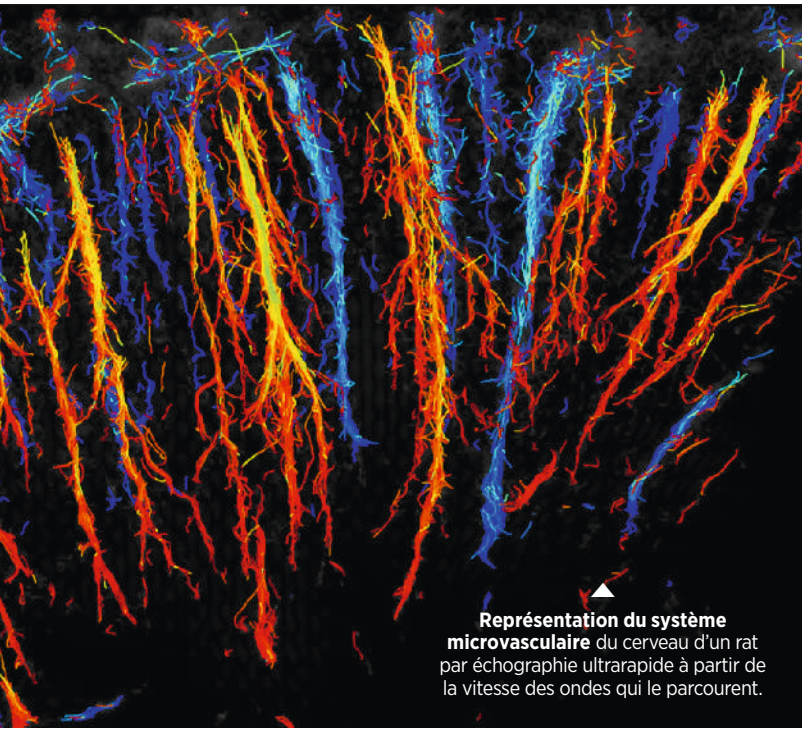
Rentrons dans les détails, le dispositif ne repose-t-il pas sur deux types d'ondes différentes ?

M. F. : En effet, nous avons conçu d'une part une caméra à ultrasons ultrarapide qui permet d'acquérir 10 000 images par seconde à l'intérieur du corps humain. Mais elle permet aussi d'observer d'autres ondes de très basse fréquence, sonores, dites de cisaillement mécanique, qui avancent de proche en proche dans le corps. Leur vitesse de propagation dépend directement de la dureté des tissus. Plus l'onde de cisaillement va vite, plus la dureté est grande. Le traitement du film permet ainsi de voir la vitesse de l'onde en chaque endroit du corps, et donc la dureté. C'est un paramètre que les échographes ne voyaient jamais auparavant. En mélangeant ultrasons et ondes de cisaillement, nous avons obtenu le premier appareil d'imagerie « multi-ondes », c'est-à-dire qui utilise deux ondes pour obtenir l'image. Ce qui permet d'obtenir le niveau de dureté en couleurs en chaque point du tissu. Ainsi quand une tumeur commence à se former, il est possible de la voir alors qu'elle est imperceptible pour le médecin. Précisons cependant que nous n'avons pas inventé l'échographe ultrasonore, mais le premier, créé en 1947 — année de la naissance de *Sciences et Avenir* ! — ne permettait d'obtenir qu'une image par minute.

Mickael Tanter, vous avez continué à travailler sur l'imagerie en vous focalisant sur la circulation du sang dans le cerveau. Quels résultats avez-vous obtenus ?

M.T. : Nous arrivons à voir à l'intérieur du cerveau des vaisseaux qui font 500 micromètres de diamètre sur des cartes qui traduisent la

« De gigantesques bases de données, analysées par IA, nous donneront la "marque" des maladies dans le flux sanguin »
Mickaël Tanter



Représentation du système microvasculaire du cerveau d'un rat par échographie ultrarapide à partir de la vitesse des ondes qui le parcourent.

ESPCI/INSERM/CNRS

vitesse du sang dans les vaisseaux. L'approche repose toujours sur le même concept d'imagerie ultrarapide. Mais pour pouvoir voir plus loin que la limite de la longueur d'onde ultrasonore qui est de l'ordre du millimètre, on introduit des bulles de gaz microscopiques dans la vascularisation du patient — on appelle cela un agent de contraste — que l'on peut localiser avec une précision de l'ordre de 4 à 5 micromètres. En envoyant des millions de bulles en quelques dizaines de seconde, on peut par exemple voir le vortex qui se forme dans un anévrisme. Les ultrasons deviennent ainsi la première imagerie en clinique pour voir les flux sanguins à l'échelle du micromètre. Pour l'instant les images sont en 2D mais nous pourrons bientôt avoir les mêmes en 3D.

M. F. : Utiliser l'imagerie ultrarapide pour voir l'évolution de chaque petite bulle dans un vaisseau est révolutionnaire. Quand j'ai voulu fabriquer le premier appareil d'imagerie ultrarapide en 1998, tous mes collègues dans le monde disaient *« ça ne sert à rien de voir 10 000 fois par seconde l'intérieur du corps humain »*. Si notre première idée était de voir l'élasticité, on voit les résultats avec ces bulles servant d'agent de contraste dans le sang.

Est-ce que cette aide au diagnostic est déjà utilisée ?

M. T. : On vient juste de faire la « preuve de concept » [démonstration de faisabilité] chez l'humain. Les applications seront nombreuses mais on ne peut pas aujourd'hui affirmer l'impact que cela va avoir dans tous les domaines de la médecine. On va avoir des jeux de données gigantesques qui seront analysés par des intelligences artificielles. Elles nous donneront la marque des pathologies dans les écoulements sanguins. Le flux sanguin est en fait une sorte de « code-barres » qui bouge en permanence qu'il va falloir déchiffrer pour comprendre les maladies. ■

Propos recueillis par Olivier Lascar

@olascar

BRUNO LÉVY

Éthique

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

Des robots trop zélés pour être honnêtes !

Les agents conversationnels comme Alexa d'Amazon donnent la météo, passent des coups de fil, recherchent la définition d'un mot, réservent des places au restaurant, etc. Ce sont de parfaits domestiques. Ils nous assistent dans toutes les tâches quotidiennes, sans jamais rechigner. Ils se chargent de tout à merveille. Comment ne pas se réjouir d'avoir à sa disposition, pour une somme modeste, des serviteurs aussi polyvalents, zélés, prévenants, humbles et obéissants ? Certains s'inquiètent de machines qui décideraient à notre place ou qui useraient de techniques de persuasion pour exploiter nos faiblesses afin de nous inciter à agir. D'autres craignent des atteintes à la dignité des personnes infantilisées par ces robots bavards. Il faut avoir bien peu confiance dans l'autonomie et la force de décision humaines pour donner crédit à de telles appréhensions ! Pourquoi devrait-on davantage s'alarmer de la sujétion aux recommandations de ces robots qu'à celles des influenceurs publics que l'on entend à longueur de journée dans les médias ? Plus prosaïquement cependant, ces robots enregistrent toutes les conversations familiales, les bruits de table, etc. Et ils les transmettent aux géants de la « toile » pour qu'ils les exploitent au mieux. Joseph Staline, Nicolae Ceausescu et Mao Zedong auraient rêvé de tels mouchards ; George Orwell les a imaginés dans son roman *1984* ; les industriels du Web les ont fabriqués ! ■

> « Pourquoi devrait-on davantage s'alarmer de la sujétion aux recommandations de ces robots bavards plutôt qu'à celles des influenceurs publics ? »

* Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS). Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

Éloge de la métamorphose

Le célèbre anthropologue Philippe Descola poursuit sa réflexion sur les liens entre nature et culture, en particulier dans l'usage des masques par les sociétés animistes.

BALTEL/SIPA

Philippe Descola, anthropologue, directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales, est professeur émérite au Collège de France, dont il a occupé la chaire d'Anthropologie de la nature de 2000 à 2019. Il a reçu la médaille d'or du CNRS en 2012.

« Ce livre est l'aboutissement d'une troisième expérience. La première était ethnographique. Je l'ai menée dans les années 1970, en Amazonie équatorienne, auprès des Achuar. J'étais parti étudier les rapports que cette société entretenait avec son environnement. Au fil du temps, je me suis rendu compte que la façon dont je me figurais ce projet de recherche était biaisée. Elle était fondée sur un cadre conceptuel propre aux sociétés occidentales, où l'on oppose nature et culture. Or la société achuar dépasse les limites de l'humain, puisque y sont intégrés comme des partenaires sociaux des non-humains : plantes, animaux, esprits, etc.

Cette première expérience m'a conduit à en entreprendre une deuxième, plus livresque et anthropologique. Elle a abouti à un livre, *Par-delà nature et culture*, où je postule notamment l'existence de quatre modèles d'identification du monde. L'un d'entre eux est l'animisme. Dans celui-ci, on estime que la plupart des existants (cela inclut les ombres, les objets, etc.) ont une intériorité, une âme, une subjectivité, une volonté agissante, qui les rend, d'une certaine façon, analogues aux humains sous certains aspects ; chaque type d'existants a, en revanche, un rapport au monde distinct en raison de sa forme, de sa fonction, etc.

La troisième expérience prolonge cette réflexion théorique. Elle est fondée sur l'idée que, si les quatre modèles que j'ai dégagés à partir de l'étude de textes (mythes, commentaires lors de rites, traités savants, etc.) sont pertinents, on doit pouvoir en retrouver l'indication sous d'autres formes. Or, toutes les sociétés fabriquent des images ; elles rendent visibles par ce biais des choses qui ne le sont pas, soit parce qu'on ne les a pas sous les yeux au moment où l'on en parle, soit parce qu'elles sont difficiles à se figurer. J'ai donc entrepris d'étudier les images en me demandant si elles pourraient apporter une garantie supplémentaire de pertinence aux modèles que j'ai développés. Une grande partie du livre est ainsi consacrée aux façons de figurer certains processus caractéristiques de chaque ontologie. Un exemple frappant est celui de la commutation, de la métamorphose, dans l'animisme. Il s'agit d'une expérience par excellence de cette ontologie, qui consiste à osciller entre deux points de vue en percevant un être tantôt sous l'angle de son corps — celui de telle ou telle espèce particulière —, tantôt sous l'angle de son intériorité. J'ai identifié l'un des mécanismes caractéristiques des sociétés animistes pour rendre visible ce processus : le masque. Les masques d'esprits animaux que l'on trouve chez les Yupiit, une population d'Alaska, sont remarquables par exemple, parce qu'ils rendent ce processus de commutation de façon très économique : ils figurent la qualité de personne de l'espèce par l'inclusion d'un visage humain dans

EXTRAIT

« M'aventurant sur un terrain nouveau pour moi et fort peu frayé par d'autres, l'anthropologie comparative de la figuration, j'ai beaucoup tâtonné, buté sur des culs-de-sac et multiplié les expérimentations. [...] Ce long baguenaudage dans le labyrinthe des images me fut sans doute indispensable. Outre qu'il reproduisait dans l'enquête sur la figuration l'attitude expérimentale qu'adoptent souvent ceux qui figurent, il témoignait du fait qu'une image, plus encore qu'un texte ou une situation, excède toujours de beaucoup ce que l'on peut en dire car elle rend présent et vivace le condensé synthétique d'un objet que la linéarité de nos mots peine à enserrer dans un discours analytique. »

Les Formes du visible, Philippe Descola, Seuil, 848 p., 35 €, à paraître le 2 septembre

GIFT OF ELIZABETH H. PENN / BRIDGEMAN IMAGES

Masque yup'ik d'Alaska figurant l'esprit d'une loutre de mer par l'association d'une représentation de l'animal et d'un visage humain.

une face ou un corps animal parfaitement reconnaissable par ailleurs. Ce code formel est partagé, à des milliers de kilomètres de là, par un autre bastion de l'animisme : les Ma'Bétisek de Malaisie. Là-bas, les masques sont un accessoire d'usage exceptionnel, mais ils juxtaposent aussi une demi-face animale (un tigre, par exemple) et une demi-face humaine pour représenter le basculement entre le point de vue de la « physicalité » et celui de l'intériorité. Bien sûr, les masques sont employés dans d'autres régions du monde et dans les autres ontologies, mais pas dans les mêmes circonstances ni pour servir les mêmes fins. Dans la culture totémiste des Warlpiri, en Australie, ils constituent plutôt des indices, des traces, du passage des êtres du Rêve — c'est-à-dire des totems — à la surface de la Terre. C'est là, au fond, que s'apprécie l'apport de l'anthropologie depuis plus d'un siècle, à mon sens : dans cette capacité qu'ont les anthropologues à différencier des choses qui, à première vue, pour nous Occidentaux, semblent semblables. » ■

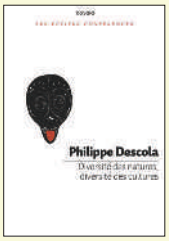
> « Les sociétés fabriquent des images afin de rendre visibles des choses qui ne le sont pas »

Propos recueillis par Vincent Glavieux @vglavieux

DU MÊME AUTEUR

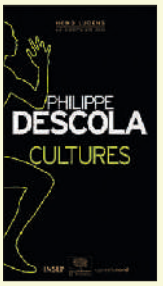
Questionner la dualité nature/culture

INCONTOURNABLE Au milieu des années 1970, Philippe Descola part étudier les rapports qu'entretiennent les Achuar, une population vivant en Amazonie équatorienne, avec leur environnement. Il constate que le dualisme, qui dans nos sociétés oppose nature et culture, leur est inconnu. Cette opposition, réalise-t-il après avoir mené un travail comparatif, n'existe en fait que dans l'Occident moderne. Il propose alors une nouvelle approche anthropologique des relations entre les humains et leur environnement. Un tournant ontologique dont ce livre, incontournable, constitue l'aboutissement.
Par-delà nature et culture, Philippe Descola, Gallimard Folio, 2015 (1re parution en 2005), 800 p., 12,30 €



L'anthropologie pour les jeunes

INITIATION Philippe Descola, dans un vocabulaire et avec des exemples adaptés, explique sa pensée aux adolescents et aux enfants : le fait que la nature est un concept qui a été inventé par la civilisation occidentale, qu'il existe différentes manières d'appréhender et de traiter les non-humains (plantes, animaux, objets) et d'habiter la Terre, ou encore que notre culture, notre éducation nous jouent des tours dans l'appréhension de ces autres réalités. Une bonne initiation à l'œuvre d'un des grands anthropologues de notre époque.
Diversité des natures, diversité des cultures, Philippe Descola, Bayard, 2010, 85 p., 12,90 €



Plus vite, plus haut, plus fort ?

SPORT Le jeu est universel. Dans de nombreuses cultures, il sert d'activité d'éveil, d'apprentissage de la vie et des techniques. Il peut aussi revêtir une dimension rituelle ; il s'agit alors de mettre en marche un processus qui échappe à la volonté individuelle des participants : par exemple, les jeux de balle chez les Aztèques visaient à aider le mouvement des astres. La notion de coopération, nous explique Philippe Descola dans cette mise en perspective éclairante, y est en tout cas bien plus importante que celles de compétition, de nationalisme et d'inégalité qui semblent dominer le sport occidental contemporain.
Cultures, Philippe Descola, Le Pommier, 2017, 112 p., 8,50 €

PHANIE

Analyse de tiques, vecteurs de la maladie de Lyme, au laboratoire de santé animale de l'Anses.

Les « Lyme doctors » déconstruits

Dans un essai percutant, le médecin Éric Caumes dénonce ce qu'il estime être un « surdiagnostic » massif de ses confrères qui, paradoxalement, égarerait des malades bien réels de cette infection bactérienne transmise par les tiques.

EXPERTISE « Le Lyme rendrait-il fou ? » En posant cette question, le Pr Éric Caumes ne pense pas à ceux qui seraient effectivement atteints par cette infection bactérienne transmise par les tiques, mais bien aux autorités scientifiques, associations et aux « Lyme doctors » qui ont, selon lui, depuis le début des années 2000, érigé cette maladie en problème majeur de santé publique présumé. « *Une imposture* » pour ce chef du service des maladies infectieuses de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Paris) devenu malgré lui un expert supposé de la maladie face à l'afflux de patients se pensant atteints, alors même que le Lyme n'est pas endémique en Île-de-France. Dans cet essai, il rappelle que jusqu'à preuve du contraire, l'infection due à des bactéries borrélies se soigne très bien par antibiotiques. Surtout, il affirme qu'environ 90 % des patients venant consulter pour une suspicion de Lyme ne sont finalement pas touchés par cette maladie faisant surtout de lui un expert en « maladie de non-Lyme » ! Depuis 2018, pas moins de sept études conduites aux États-Unis, au Pays-Bas et en France convergent pour établir que moins de 15 % des personnes consultant sont effectivement touchées. Pour Eric Caumes, ce phénomène de surdiagnostic massif égarerait des patients bien réels, eux, en errance médicale et conduirait à des traitements et examens inappropriés voire des « *ordonnances abracadabrantesques* » délivrées, selon lui, par ces médecins persuadés de l'existence d'une forme chronique de la maladie. Devenu de fait expert auprès des autorités de l'État sur le sujet, Éric Caumes livre ici un témoignage grinçant sur le « *degré de compromission inédit* » qu'il dit avoir observé au sein des institutions, mais aussi les manipulations, les tentatives d'intimidation et les pressions exercées par les associations de Lyme ou les fameux « Lyme doctors ». ■ **Hugo Jalinière**

Maladie de Lyme, réalité ou imposture, Éric Caumes, Éditions Bouquins, 176 p., 18 €

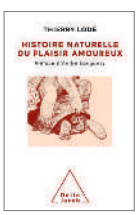
Les hautes fréquences qui soignent

SÉRENDIPITÉ C'est à la suite d'une observation fortuite que le neurochirurgien et physicien Alim Louis Benabid a eu l'idée de stimuler certaines zones du cerveau à l'aide d'un courant électrique à haute fréquence. Cette stimulation appliquée très précisément stoppe les symptômes de la maladie de Parkinson comme les tremblements et les mouvements désordonnés. Une stratégie innovante lancée en 1987. Depuis, des centaines de milliers de malades ont été traités de cette façon. Dans ce livre, le scientifique âgé de 79 ans revient sur cette découverte audacieuse et retrace l'évolution de son application. ■ **M. G.**

Le Hasard et le Possible, Alim Louis Benabid, Odile Jacob, 252 p., 23,90 €

L'évolution sous l'angle du sexe

ÉNIGME BIOLOGIQUE Parce qu'il demande « *mille complexités* », nous explique Thierry Lodé, professeur d'écologie évolutive et directeur de recherche à l'université Rennes-I, le sexe se révèle « *la plus ahurissante manière de diffuser ses propres gènes* ». Pourtant, et les scientifiques le montrent bien, 95 % des espèces animales recherchent et éprouvent du plaisir amoureux — le léopard, qui peut additionner 150 accouplements en une journée, en est un exemple frappant ! Mais alors, quel est l'intérêt sélectif du sexe (notamment de l'orgasme) s'il ne présente pas d'avantage reproducteur ? La réponse à cette énigme biologique se trouve dans ce livre jubilatoire et, osera-t-on même, jouissif. ■ **V. G.**



Histoire naturelle du plaisir amoureux, Thierry Lodé, Odile Jacob, 336 p., 22,90 €

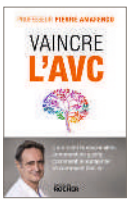
Newton en s'amusant

PÉDAGOGIE Devinette : comment retourner dans la Station spatiale internationale alors qu'on dérive au large du sas d'entrée ? Il suffit d'appliquer les trois lois du mouvement de Newton. Mais encore faut-il s'en souvenir. Ce livre permet une révision, ou une découverte, ludique des fondamentaux de la physique. Avec pédagogie et humour, le mouvement, la gravitation, l'énergie, entre autres, sont expliqués et illustrés grâce à de nombreux exemples concrets. Quant à la solution de l'énigme, c'est simple : lancez dans la direction opposée à la station un objet de votre combinaison, le plus lourd possible. Le principe d'action-réaction vous ramènera au bercail, foi de Newton. ■ **F. N.**

Newton à la plage, Yann Mambrini, Dunod, 208 p., 15,90 €

Urgence neurologique

PRÉVENTION AVC : trois lettres désormais bien connues qui signent une urgence neurologique, celle de l'accident vasculaire cérébral. Cet ouvrage informe, bien sûr, mais aussi explique et rassure face à une pathologie qui concernera un homme et une femme sur quatre aujourd'hui âgée de 25 ans. L'auteur, responsable du service de neurologie de l'hôpital Bichat (Paris), est incollable. L'ouvrage détaille les causes et les symptômes qui doivent alerter les secours, précise comment surmonter mais aussi éviter l'AVC. Puisse ce livre contribuer à la mission du fond de dotation Vaincre l'AVC : réduire de 80 % le fardeau de l'AVC à l'horizon 2030. ■ **S. R.-M.**



Vaincre l'AVC, Pierre Amarenco, éditions du Rocher, 328 p., 21, 90 €

Un « événement global » en Gévaudan

SAUVAGERIE La Bête du Gévaudan est plus qu'un animal carnassier. Plus qu'un fait divers étalé sur plusieurs années (1764-1767). Plus qu'une énigme sans, d'ailleurs, de dénouement clair. C'est un *« événement global »* comme l'écrit l'auteur, historien spécialiste du monde rural. Son livre est un véritable récit restituant, comme si on y était, le contexte social, géographique, médiatique et climatique, même, de ces attaques aussi sauvages que mystérieuses dans l'actuelle Lozère. Le traitement du paysage et des modes de vie, des relations entre soldats dépêchés sur place et populations locales en fait un ouvrage passionnant. ■ **A. D.**

La Bête du Gévaudan, Jean-Marc Moriceau, Tallandier, 480 p., 11,50 €

Un trésor vivant caché sous nos pieds

BD Hadès, dieu des Enfers a décidé de passer le flambeau et de recruter son successeur. Pour départager les nombreux candidats, il leur propose de découvrir *« le vrai visage des enfers »* à travers une série d'épreuves qui conduira les survivants jusqu'à la corne d'abondance. Ce parcours très ludique, au cours duquel les personnages vont voir leur taille se réduire jusqu'à l'échelle microscopique, va leur permettre de découvrir la complexité et la richesse des sols, grouillants de vie ou stérilisés par l'agriculture intensive. Une BD passionnante, foisonnante d'informations fournies par le biologiste Marc-André Selosse, qui démontre la nécessité de préserver les sols pour assurer notre survie. ■ **S. R.**

Sous Terre, Mathieu Burniat et Marc-André Selosse, Dargaud, 176 p., 19,99 €

Retour de la production

LEGO La pandémie de Covid-19 a mis en lumière notre dépendance envers la Chine. La globalisation de la production repose en réalité sur une *« économie du Lego »*, explique l'auteur. Les diverses pièces ou matières d'une voiture ou d'une poupée Barbie sont réalisées dans des pays à bas coûts pour être assemblées en Chine et transportées par d'immenses porte-conteneurs vers les bassins de consommation. Mais à l'heure du changement climatique, ce modèle s'essouffle comme le montre cet essai passionnant. Depuis les années 2010, les progrès de la robotique et du numérique permettent une production plus automatisée dans les pays développés, et ainsi de produire à la demande — le consommateur étant devenu rétif à l'attente — et à des coûts similaires à ceux des pays émergents. Une solution durable, quand on sait que 1000 milliards de vêtements sont mis en vente chaque année dans le monde mais que 40 % s'écoulent à prix réduit et 10 à 15 % ne trouvent pas preneur ! Énergies renouvelables de proximité, recyclage des ressources et déchets de plus en plus efficaces devraient ainsi permettre une relocalisation régionale des aires de production. Une démonstration brillante et étayée ! ■ **Sylvie Rouat**

La (Re)localisation du monde, Cyrille P. Coutansais, CNRS éditions, 288 p., 24 €

La plage, un écosystème complet

COQUILLAGES ET CRUSTACÉS Fin de mer et début de terre, lieu de rencontre entre eaux douces et salées, la plage est un espace unique, créé par le balancement des marées. Son sable est le produit de l'érosion des roches environnantes et de l'accumulation des coquillages. Chaque plage de sable est donc unique : rouge si les roches littorales contiennent du grenat, comme à l'île de Groix, ou des scories riches en fer (Galapagos), noire dans les zones volcaniques ou blanche si son sable est issu des coquilles des animaux qui y vivaient, comme à Deauville. Les mouvements des marées peuvent la dépouiller de son sable en hiver et le lui rendre en été. Cet écosystème battu par les tempêtes, desséché par le sel, régi par l'alternance immersion-émersion abrite pourtant une grande biodiversité : plantes, vers, coquillages, oiseaux, mammifères marins… Géologue et photographe, Arnaud Guérin nous offre les clés de compréhension de ce milieu que l'on croit familier dans cet ouvrage richement illustré. ■ **S. R.**

La Plage, une nature cachée, Arnaud Guérin, Glénat, 144 p., 19,95 €

OUVERTURES ET RÉNOVATIONS

À la sortie du confinement, certains musées ont rouvert après avoir été réaménagés, d'autres sont complètement nouveaux.

Brest (29)

70.8 : galerie des innovations maritimes
Le nom de ce nouvel espace correspond au pourcentage de mers et d'océans sur la surface du globe. Il est consacré aux technologies et aux innovations maritimes, comme les filières émergentes des biotechnologies marines ou les navires du futur, en passant par l'exploration des grands fonds. (Voir notre reportage sur sciav.fr/895Brest)
25 rue de Pontaniou.
Rens. : 02.98.37.36.00.

Narbonne (11)

NarboVia
Après cinq ans de travaux, ce lieu dédié à l'histoire gallo-romaine de Narbonne a ouvert en mai. Le musée expose en permanence un millier d'objets mais chapeaute aussi un site antique de fabrication d'amphores et des galeries souterraines (l'*horreum*).
2, avenue André-Mècle (anciennement 50, avenue de Gruissan).
Rens. : 04.68.90.28.90.

Orléans

Musée d'Orléans pour la biodiversité et l'environnement
Le muséum est devenu le MOBE en mai, après plus de cinq ans de fermeture pour cause de travaux et de pandémie. L'accent est mis sur la préservation et sur l'environnement. L'exposition permanente montre 1200 spécimens sur les 435 000 que compte la collection du musée.
6, rue Marcel-Proust.
Rens. : 02.38.54.61.05.

Paris (75)

Musée Carnavalet
Fermé depuis quatre ans, le musée de l'Histoire de Paris a rouvert avec une nouvelle scénographie axée sur la chronologie. En 3800 œuvres, le parcours va de la préhistoire, dont la part a été étoffée et inclut des données récentes, à l'incendie de Notre-Dame de Paris en 2019. (Voir notre reportage sur sciav.fr/895Carnavalet)
23, rue de Sévigné.
Rens. : 01.44.59.58.58.

Les étincelles du palais de la Découverte
Le haut lieu parisien de la médiation scientifique étant fermé pour travaux jusqu'en 2025, il héberge ses activités, dont un planétarium au format réduit, sous une structure éphémère de bois.
Jardin Caroline Aigle, 186, rue Saint-Charles. Rens. : 01.56.43.20.20.

Musée Méliès
Le musée de la Cinémathèque française a été repensé autour de la figure de Georges Méliès, pionnier de techniques devenues consubstantielles du 7e art. Une large place est faite aux appareils, souvent conçus par des scientifiques, destinés à créer du mouvement à partir d'images fixes. (Voir notre reportage sur sciav.fr/895Melies)
Cinémathèque française, 51, rue de Bercy.
Rens.: 01.71.19.33.33.

Hôtel de la Marine
Érigé au XVIIIe siècle pour héberger le garde-meuble royal, siège du ministère de la Marine pendant plus de deux siècles, ce bâtiment est pour la première fois ouvert au public. La rénovation, d'un coût de 130 millions d'euros, permet de se plonger dans un appartement et des salons du XVIIIe siècle.
2, place de la Concorde.
Rens. : www.hotel-de-la-marine.paris

Toulouse (31)

La Halle aux machines
Réouvert le 29 mai, le lieu abrite les créations de techniciens, décorateurs et artistes de rue. Des machines géantes tel un minotaure de 14 m de haut sont conçus pour transporter les visiteurs. (Voir notre reportage sur sciav.fr/895Toulouse)
3, avenue de l'Aérodrome de Montaudran. Rens. : 05.32.10.89.07.

Vif (38)

Musée Champollion 2021
Installé dans la maison du frère de Jean-François Champollion, ce nouveau musée est consacré à leur œuvre et à la naissance de l'égyptologie. Les collections ont toutes été restaurées en 2018.
45, rue Champollion.
Rens. : 04.57.58.88.50.

RMN-GRAND PALAIS/THIERRY LEMAGE

Sur cet os gravé par des humains du paléolithique supérieur, figurent deux loups face à face.

Elbeuf (76) / Exposition

Histoires de loups : portrait, mythes et symboles

Si son intitulé promet une réflexion sur les représentations, l'exposition « Histoires de loups : portrait, mythes et symboles » puise en bonne partie dans les travaux scientifiques (biologie, paléontologie). L'enjeu est en effet de fournir des clés sur l'évolution de *Canis lupus* qui remonte à 55 millions d'années avec les traces d'un groupe de petits carnivores, les miacidés. *« Ils seraient les ancêtres de tous les canidés »*, souligne Jérôme Tabouelle, commissaire de l'exposition. Au fil des périodes apparaissent le loup étrusque (aujourd'hui éteint) en Europe méditerranéenne, le loup de Mosbach en Eurasie, ou encore le loup terrible (*Canis dirus*) en Amérique du Nord, lui aussi disparu. C'est il y a environ 33 000 ans que les loups et les humains ont fini par se côtoyer Les animaux les moins craintifs, tolérés par les chasseurs-cueilleurs, se seraient établis à proximité de ces derniers, jusqu'à être utiles pour la garde du campement. Ainsi serait née une sous-espèce, *Canis lupus familiaris* : le chien. (Voir notre reportage sur sciav.fr/895Loup) ■ **Anne-Sophie Tassart**
La Fabrique des savoirs, 7, cours Gambetta, jusqu'au 24 octobre. Rens. : 02.32.96.30 40.

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

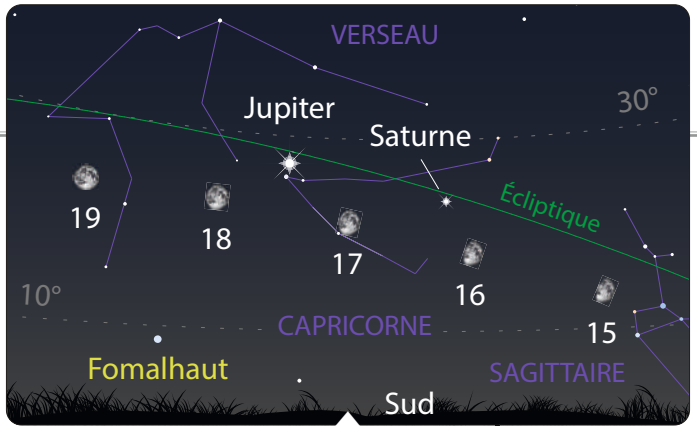
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire (près de 27°) à l'est du Soleil le 14. En dépit de cette élongation favorable, la très faible hauteur de Mercure en soirée sur l'horizon la rend indiscernable dans les lumières du couchant tout ce mois.

VÉNUS
L'étincelante étoile du Berger est visible le soir vers le sud-ouest et passe sous l'horizon un peu moins de 1h30 après le Soleil. Si, au cours du mois, un point très brillant attire votre attention en soirée vers le couchant, il s'agit de Vénus !

MARS
La planète Rouge n'est pas observable en septembre car beaucoup trop proche de la direction du Soleil. Elle sera d'ailleurs en conjonction avec l'astre du jour le 8 octobre. Nous la retrouverons en toute fin d'année au petit matin.



Il est ici 23 heures. Jupiter et Saturne sont proches de leur culmination et leur hauteur sur l'horizon est maximale sous nos latitudes.

Saturne et Jupiter à la fête

DU 16 AU 18, la Lune en phase gibbeuse croissante rendra visite à Saturne et à Jupiter. Ces deux planètes sont passées à l'opposition en août et sont donc observables (à l'œil nu) en soirée et une grande partie de la nuit. Le soir du 16, la Lune sera à 6° de Saturne et le soir du 18, à 8° de Jupiter.

Notre conseil L'observation se fait sans difficulté avec un horizon sud assez dégagé. Son intérêt réside dans le repérage sans équivoque des deux planètes, que vous pourrez suivre semaine après semaine. Des jumelles vous dévoileront les satellites de Jupiter et une petite lunette, les anneaux de Saturne.

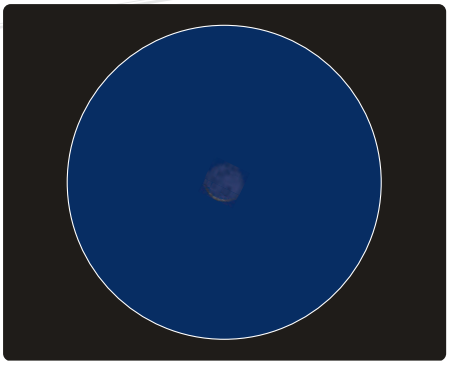
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr/carteduciel

JUPITER
La plus massive des huit planètes est visible dès la tombée du soir vers le sud-est. Elle monte ensuite dans le ciel pour atteindre une trentaine de degrés de hauteur vers minuit et entame alors sa lente descente vers le couchant. Très brillante, elle est la reine des nuits de fin d'été et de début d'automne.

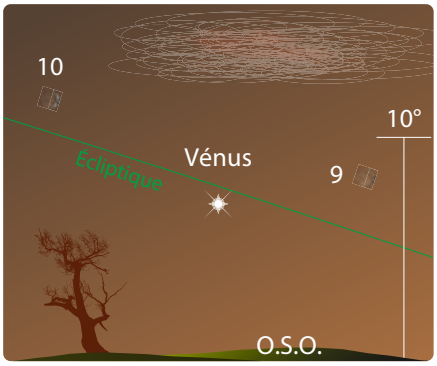
SATURNE
La planète aux anneaux se lève environ 45 minutes avant Jupiter. Bien que séparées d'une quinzaine de degrés, elles se situent toutes les deux dans la constellation du Capricorne.

L'appli du mois

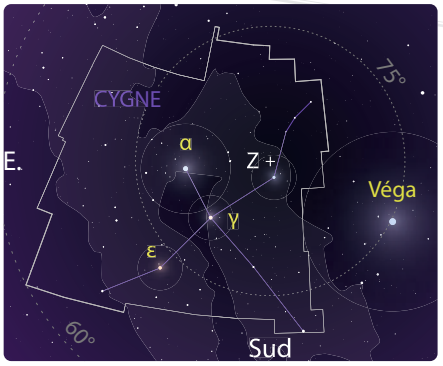
SKYSAFARI est une application en français gratuite sous Android et payante (3,49 €) sous iOS. Véritable planétarium de poche, elle vous permet de localiser intuitivement planètes, étoiles et constellations dans le ciel et, inversement, de déterminer la nature des astres qui vous sont inconnus.



LE MATIN DU 5, UNE DEMI-HEURE ENVIRON AVANT LE LEVER DU SOLEIL, admirez le très fin croissant de Lune aux jumelles. N'a-t-il pas l'allure d'une barque légère, à peine redressée ?



LES SOIRS DU 9 ET DU 10, PEU APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, observez la planète Vénus briller de mille feux vers le couchant, non loin de notre satellite en premier croissant.



VERS 22 HEURES TOUT CE MOIS, LA JOLIE CONSTELLATION DU CYGNE trône non loin du zénith (Z). Son étoile la plus brillante est Deneb (α). Le Cygne est parfois surnommé la Croix du Nord.

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

BOTANIQUE

Pourquoi les feuilles des arbres sont-elles vertes ?

Antoine N. C.

Si la plupart des feuilles sont vertes, c'est parce qu'elles contiennent de la chlorophylle, un pigment abondant pendant toute leur phase de croissance. Elle est impliquée dans la photosynthèse, qui transforme l'énergie lumineuse en énergie chimique et finalement en matière organique (glucose essentiellement). La chlorophylle absorbe la lumière du Soleil : surtout le rouge et le bleu, mais pas entièrement le vert, dont une partie est réfléchie (de 10 à 50 %). Or ce sont la ou les couleurs réfléchies qui donnent sa teinte à un objet, d'où l'apparence verte des feuilles. ■

Joël Ignasse @IgnasseJ

ANTALGIE

Comment soulager un point de côté ?

Stanislas G.

Cette douleur abdominale aiguë, d'apparition brutale, est localisée sous les côtes ou en haut du ventre, à droite ou à gauche. Elle survient au cours d'un effort physique et entraîne une gêne respiratoire. C'est la conséquence d'une mauvaise oxygénation des muscles (diaphragme, intercostaux et abdominaux). Le manque d'oxygène est détecté par le corps qui contracte la rate afin d'augmenter le nombre de globules rouges dans le sang, ce qui entraîne une crampe. Il faut alors stopper l'effort, puis se pencher en avant tout en comprimant la zone douloureuse avec les mains et respirer lentement et profondément. Quand la douleur s'estompe, il faut boire puis faire des étirements. Si elle persiste, il faut appeler le Samu pour écarter la piste d'un infarctus du myocarde. ■

Lise Loumé @Lys_Loume

VOISIN/PHANIE

En traversant le corps, un courant électrique de forte intensité peut entraîner un dysfonctionnement cardiaque et conduire à la mort.

SANTÉ

Comment se produit une électrocution et quelles en sont les conséquences ?

Capucine L.

Rigoureusement, on ne parle d'électrocution que si ce phénomène provoque la mort, sinon il s'agit d'électrisation. Et les moyens de subir le passage d'un courant électrique dans le corps sont nombreux : clôtures électrifiées, câble électrique dénudé, prise électrique… Rappelons qu'un courant électrique correspond au déplacement d'électrons (particules présentes dans l'atome et chargées négativement) dans un matériau conducteur, comme un fil métallique. Outre les métaux, l'eau compte parmi les meilleurs conducteurs ; or c'est le constituant principal du corps humain. Le plus souvent, le courant entre par la main, qui manipule l'élément électrique, et sort par le pied, car il essaie de se frayer le plus court chemin dans le corps jusqu'au sol. Au contact de la peau, l'électricité engendre des dégâts plus ou moins sévères, allant de la simple rougeur à une brûlure au troisième degré. Elle se propage ensuite dans les parties les moins résistantes du corps, donc les plus rapides à traverser : les fibres nerveuses, les vaisseaux sanguins et les muscles, provoquant des contractions involontaires. Les conséquences dépendent de la durée de contact avec la source électrique et de l'intensité du courant : le danger est présent dès que ce dernier dépasse 5 milliampères (mA), ce qui est le cas avec presque tous les appareils électriques branchés chez soi, et des tensions de 50 V quand il fait sec (25 V en milieu humide). En cas de très forte intensité (dès 100 mA), le courant peut aller jusqu'au cœur et entraîner un dysfonctionnement cardiaque, allant du simple trouble à l'arrêt ■ **Léa Fournasson** @FournassonL

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 893/894, juillet/août 2021

Autoréférences hexadécimales

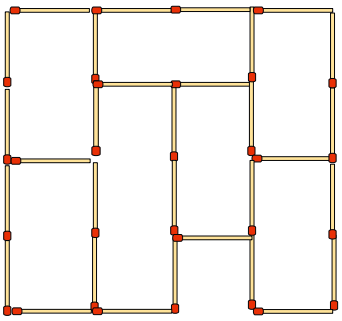
0 2	8 3	6	E	4	6	3	E
1 1	9 2	8	F	E	6	E	4
2 3	A 0	5	4	3	6	6	E
3 8	B 3	5	F	6	3	6	7
4 6	C 3	C	B	6	C	9	6
5 4	D 0	7	C	6	9	2	B
6 F	E 6	5	6	B	7	6	5
7 4	F 3	B	8	7	E	4	6

Cépages et assemblages

Appelons A, B et C les trois tonneaux de 100 litres et X celui de 50.
Le tonneau de 25 litres est inutilisé.
Les six opérations du caviste sont :
1 - remplir X à partir de A ;
2 - compléter A avec du vin de B. Maintenant A contient 50 % de loire - 50 % de bordeaux ;
3 - compléter B avec du vin de C. B contient alors 50 % de bordeaux et 50 % de languedoc ;
4 - compléter C avec A, C contient alors 50 % de languedoc, 25 % de bordeaux et 25 % de loire ;
5 - compléter A avec B, A contient alors 50 % de loire, 25 % de bordeaux et 25 % de languedoc ;
6 - compléter B avec X, B contient enfin 50 % de bordeaux, 25 % de loire et 25 % de languedoc.
A, B et C ont bien les contenus annoncés.

Allumettes

Il suffit d'ôter neuf allumettes.



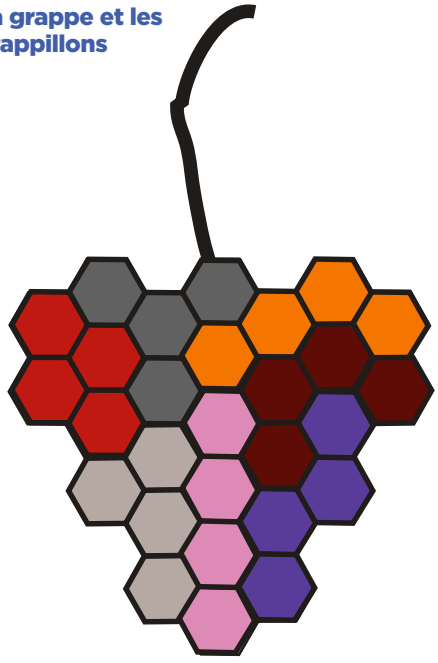
Anaphrase

L'avenir appartient à ceux qui se lèvent tôt.

Quatre frères

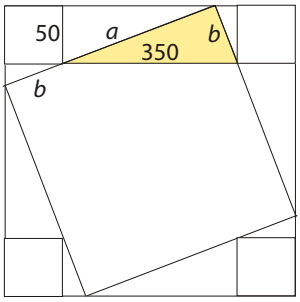
Supposons, par exemple, que Denis gagne 6000 euros et que Benoît en gagne 18000. Cela fait bien une différence de 12000 et le rapport est bien d'un tiers. Dès lors, les autres, André et Charles gagnent respectivement 54000 et 162000 euros. Denis est gérant d'hôtel, Benoît est manager sportif, André est marchand de biens et Charles est l'avocat.

La grappe et les grappillons



Planter des vignes

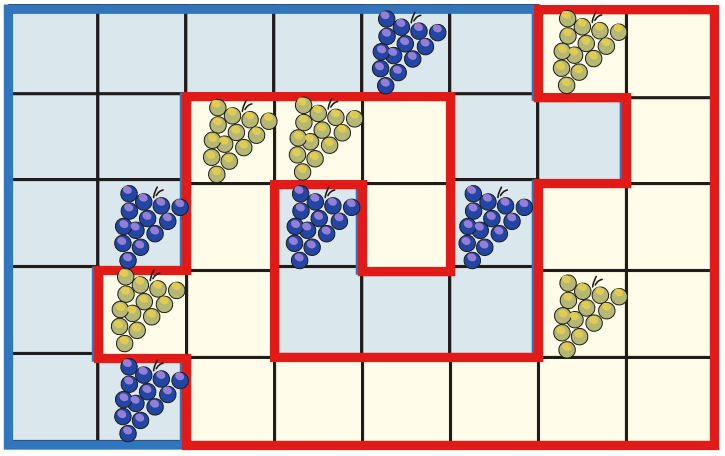
Dans cette figure (aux dimensions modifiées pour plus de clarté), on constate que le carré maximum aura pour côtés la longueur $(a + b)$, soit pour aire : $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$.
Or, on a les résultats suivants (en m^2) :
• $a^2 + b^2 = 350^2 = 122500$ m^2 (d'après Pythagore)
• $ab/2 = 350 \times 50/2$ (aire du triangle jaune), soit $2ab = 35000$ m^2.
Ainsi l'aire du carré maximum est égale à 122500 m^2 + 35000 m^2 = 157500 m^2 soit 15,75 hectares.



Cuvée Rec Tangle

Les aires demandées mesurent 9, 18, 25, 36 et 49 hectares.
On montre d'abord que le rapport entre les longueurs et les largeurs de tous les rectangles est racine carrée de 2. À partir de là, on trouve l'ensemble des tailles des rectangles, ce qui mène au résultat.
Note : le grand rectangle est également semblable à toutes les parcelles, son aire étant de 200 hectares.

Une vigne en héritage



PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Les 3 se mettent en 5

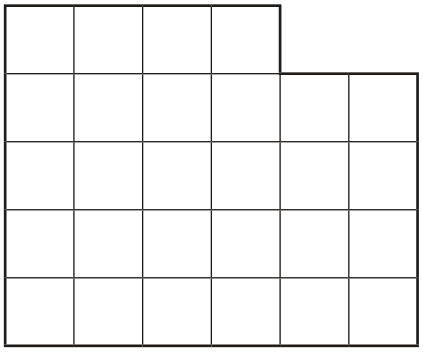
Sur le modèle de l'expression

(3-3) x 333 = 0

exprimez tous les nombres de 1 à 15 avec cinq 3, les quatre opérations et les parenthèses.

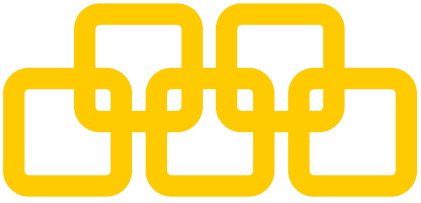
Découpage miroir

Comment découper cette figure en deux figures superposables ?



Un parcours très olympique

Comment parcourir ces 5 anneaux d'un seul trait de crayon sans se croiser ?



Les centimes du boulanger

Jacques, boulanger dans un pays lointain, dispose de deux sortes de farine : l'une qui permettrait de faire du pain à 27 centimes le kilo, l'autre à 23 centimes le kilo. Jacques n'a aucune notion d'algèbre mais souhaite réaliser du pain à 24 centimes le kilo. Comment va-t-il déterminer le nombre de kilos de chaque sorte de farine à inclure pour faire 100 kg de pain à 24 centimes le kilo ?

Disraeli croise Bachelard

À partir de cette citation du philosophe Gaston Bachelard, reconstituez une réflexion de l'écrivain britannique Benjamin Disraeli. Les numéros indiquent de quel mot provient chaque lettre.

DES	L	EPOQUE	SECONDAIRE	LES	MOLLUSQUES
1	2	3	4	5	6

CONSTRUISAIENT	LEURS	COQUILLES	EN	SUIVANT
7	8	9	10	11

LES	LEÇONS	DE	LA	GEOMETRIE	TRANSCENDANTE
12	13	14	15	16	17

| | | |

35 GRANDS TITRES DE PRESSE À PRIX IMBATTABLE !

PRIX UNIQUE **39€** l'abonnement

Jusqu'à **-69%** de remise

ruedesétudiants
JE SUIS ÉTUDIANT, JE M'ABONNE

BULLETIN D'ABONNEMENT ÉTUDIANT

A renvoyer complété et accompagné de votre règlement, sous enveloppe non affranchie à :
RUE DES ETUDIANTS - LIBRE REPONSE 82532 - 75803 PARIS CEDEX 08

PASCA21

1. COCHEZ LE OU LES ABONNEMENTS QUE VOUS CHOISISSEZ

ACTUALITÉ INTERNATIONALE

- ☐ **Courrier international** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Vocable** | Bimensuel | 21 nos
  ☐ Anglais ☐ Allemand ☐ Espagnol (cochez l'édition choisie)
- ☐ **Le Monde diplomatique** | Mensuel | 12 nos
- ☐ **La Croix L'Hebdo** | Hebdomadaire | 25 nos
- ☐ **Challenges** | Hebdomadaire | 22 nos
- ☐ **Time** | Bimensuel | 13 nos

ACTUALITÉ GÉNÉRALE

- ☐ **Le Monde Sélection hebdomadaire** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Alternatives Economiques** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Le 1** | Hebdomadaire | 39 nos
- ☐ **Society** | Bimensuel | 24 nos
- ☐ **L'Obs** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Politis** | Hebdomadaire | 18 nos
- ☐ **La Croix Campus** | Mensuel | 10 nos

CULTURE GÉNÉRALE

- ☐ **Sciences Humaines** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **L'éléphant** | Trimestriel | 3 nos
- ☐ **Zadig** | Trimestriel | 3 nos

DÉBATS

- ☐ **L'Economie politique** | Trimestriel | 6 nos
- ☐ **Études** | Mensuel | 6 nos
- ☐ **La Revue des Deux Mondes** | Mensuel | 6 nos
- ☐ **Le Drenche** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Futuribles** | Bimestriel | 3 nos

SCIENCES

- ☐ **Sciences et Avenir** | Mensuel | 10 nos + 1 n° double + 4 hors-séries
- ☐ **Science & Vie** | Mensuel | 12 nos + web illimité
- ☐ **Sport & Vie** | Bimestriel | 6 nos + 2 hors-séries

HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE

- ☐ **Histoire & Civilisations** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **L'Histoire** | Mensuel | 10 nos + 1 n° double
- ☐ **Histoire de l'Antiquité à nos jours** | Bimestriel | 6 nos + 3 hors-séries
- ☐ **Population & Avenir** | Bimestriel | 7 nos
- ☐ **La Revue Urbanisme** | Trimestriel | 6 nos

ART ET PASSION

- ☐ **Beaux Arts magazine** | Mensuel | 10 nos + l'accès au digital
- ☐ **Connaissance des arts** | Mensuel | 8 nos
- ☐ **L'Objet d'art** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Polka** | Trimestriel | 8 nos
- ☐ **Télérama** | Hebdomadaire | 21 nos
- ☐ **So Foot** | Mensuel | 10 nos

2. TOTAL DE MA COMMANDE

- Merci de vérifier si vous avez coché la ou les revues souhaitée(s).

☐ 1 abonnement → 39 € ☐ 3 abonnements → 99 €
☐ 2 abonnements → 69 € ☐ autre (30 € par abonnement supplémentaire), soit ____ abonnements → Total _____ €

3. MES COORDONNÉES - Merci d'écrire en majuscule.

☐ M ☐ Mme Nom _____

Prénom _____

Adresse (France métropolitaine seulement) _____

_____

Code Postal |_|_|_|_|_| Ville _____

Email _____

J'accepte de recevoir par email des offres de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

J'accepte de recevoir par email des offres des partenaires de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

4. JE RÈGLE LA SOMME DE

☐ 39€ ☐ 69€ ☐ 99€ ☐ autre montant _____ €

par chèque à l'ordre de *Rue des Etudiants*

Je certifie être étudiant(e) ☐ Filière _____

Année d'étude _____

En retournant ce formulaire, vous acceptez que *Rue des Etudiants*, responsable de traitement, utilise vos données pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions commerciales. Pour connaître les modalités de traitement de vos données et d'exercice de vos droits (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http://www.ruedesetudiants.com/ ou écrivez à notre DPO – 67/69 avenue Pierre-Mendès France - 75013 Paris ou dpo@groupelemonde.fr.

Offre valable jusqu'au 30 juin 2022

Abonnez-vous encore plus vite et découvrez nos offres numériques sur **ruedesetudiants.com**

nouveau

CRÉATION ÉPHÉMÈRE N°1

Savourez un instant de plaisir unique

L'OR SANS DOUTE LE MEILLEUR CAFÉ DU MONDE

JACOBS DOUWE EGBERTS FR SAS | 30 BIS, RUE DE PARADIS, 75010 PARIS, FRANCE | 810 029 413 RCS PARIS | SAS AU CAPITAL DE 16 594 157,70 EUROS.